



SKRIPSI ME 141501

**“STUDI KELAYAKAN TEKNIS PENERAPAN
TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT SISTEM BANDUL (PLTGL-SB) DI
DAERAH PESISIR PULAU BAWEAN GRESIK”**

**WINDY KAMESWORD
NRP 4211100044**

Dosen Pembimbing 1:
Irfan Syarif Arief, S.T., M.T

Dosen Pembimbing 2:
Ir. Amiadji, M.M., M.Sc

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2016**



FINAL PROJECT ME 141501

**"TECHNICAL FEASIBILITY STUDY OF SEA WAVE
POWER PLANT - PENDULUM SYSTEM (PLTGL - SB)
TECHNOLOGY APPLICATION IN THE BAWEAN ISLAND
COASTAL AREA, GRESIK "**

**WINDY KAMESWORO
NRP 4211100044**

Lecturer 1 :
Irfan Syarif Arief, S.T., M.T

Lecturer 2:
Ir. Amiadji, M.Sc

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**"STUDI KELAYAKAN TEKNIS PENERAPAN
TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT SISTEM BANDUL (PLTGL-SB) DI
DAERAH PESISIR PULAU BAWEAN, GRESIK"**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada
Bidang Studi Marine Manufacture and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh
WINDY KAMESWORO
NRP. 4211 100 044

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi

1. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
NIP. 1969 1225 1997 021001
2. Ir. Amiadj, M.M., M.Sc.
NIP. 1959 0410 1967 011001



**SURABAYA
JANUARI 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**“STUDI KELAYAKAN TEKNIS PENERAPAN
TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT SISTEM BANDUL (PLTGL-SB) DI
DAERAH PESISIR PULAU BAWEAN GRESIK”**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Marine Manufacture and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

WINDY KAMESWORO

NRP. 4211 100 044

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Dr. Eng. M. Badrus Zaman
NIP. 1977 0802 2008 04 1007



**SURABAYA
JANUARI 2016**

“STUDI KELAYAKAN TEKNIS PENERAPAN TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM BANDUL (PLTGL-SB) DI DAERAH PESISIR PULAU BAWEAN GRESIK”

Nama Mahasiswa : Windy Kamesworo
NRP : 4211 100 044
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
2. Ir. Amiadji, M.M., M.Sc.

ABSTRAK

Menurut data dari PLN, di Pulau bawean tercatat sekitar 2.750 rumah tangga yang belum teraliri listrik maupun yang masih tercatat di daftar tunggu calon pelanggan dan juga sumber listrik disana masih menggunakan PLTD. Berdasarkan BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya di peisisir Pulau Bawean memiliki tinggi gelombang signifikan berkisar antara 0,1 – 3 m yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut–Sistem Bandul (PLTGL-SB). Dengan tinggi gelombang dan periode gelombang signifikan yang terjadi, besar daya listrik maksimal yang mampu dihasilkan adalah sebesar 9658,54 watt atau 9,66 kW. Daya maksimal terjadi pada bulan Desember. PLTGL-SB model tripod ini mampu menyuplai kebutuhan listrik di daerah sasaran sebanyak 7 unit rumah. Namun pada bulan Desember, mampu menyuplai kebutuhan listrik sebanyak 42 unit rumah. PLTGL-SB ini tidak layak untuk dijadikan pembangkit listrik yang mampu bekerja secara kontinyu. Namun layak diterapkan sebagai sumber energi cadangan dari PLN.

Kata Kunci :Pulau Bawean, PLTGL-SB, Gelombang Laut, Pembangkit Listrik, Daya Listrik.

“TECHNICAL FEASIBILITY STUDY OF SEA WAVE POWER PLANT - PENDULUM SYSTEM (PLTGL - SB) TECHNOLOGY APPLICATION IN THE BAWEAN ISLAND COASTAL AREA, GRESIK ”

Nama Mahasiswa : Windy Kamesworo
NRP : 4211 100 044
Jurusan : Marine Engineering
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
2. Ir. Amiadji, M.M., M.Sc.

ABSTRACT

According to data from the PLN, on the island of Bawean carrying about 2,750 households not electrify yet and still in the waiting list of prospective customers and also still using diesel engine power plant. According to BMKG Perak Maritime Meteorology Station II Surabaya in Bawean Island coastal area has significant wave height range from 0.1 to 3 m which is potential to be used as a Sea Wave Power Plants (PLTGL). One of them is the Sea Wave Power Plant - Pendulum System (PLTGL-SB). With the wave height and significant wave periode occurs on the island of Bawean, maximum generating electric power is 9658.546 watts or 9.66 kW. Maximum power occurs in December. PLTGL-SB tripod model applied in the northern area of the Bawean island is able to supply the electrical needs in the target area of 7 houses. But in December, is able to supply the electricity needs in the target area as much as 42 units. PLTGL-SB as a power plant, is not suitable to work continuously. However it is feasible as a backup energy source of PLN.


Kata kunci: Bawean Island, PLTGL - SB , Sea Wave , Power , Electricity

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis yang berbentuk skripsi ini sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan pendidikan program S1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, yaitu :

1. Kepada orang tua dan keluarga tercinta yang mana telah memberikan dukungan moral maupun material serta doa restu yang tulus.
2. Bapak Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS semasa penulis menempuh pendidikan.
3. Bapak Irfan Syarief Arief, ST., MT selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan kesabarannya untuk membimbing penulis serta memberikan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Amiadji, M.Sc selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan kesabarannya untuk membimbing penulis serta memberikan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ibu Dosen yang telah mendidik dan memberi pengetahuan kepada kami selama menempuh perkuliahan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS.
6. Kepada Sinta Khalida M, Danar Tri Kumara, Niko, Mas Sony J., Ryan Afiif, Yani N., Bagus Gelis, Mas Pandika D., Eva junianti, Arie Eko yang telah membantu dalam menyelesaikan pengerjaan skripsi ini.

- 
7. Kepada Teman - teman kontrakan Sutorejo Timur Gang 5 No. 6, Surabaya yang telah memberikan semangat selama pengerjaan Tugas Akhir.
 8. Kepada Teman - teman Ampibi'11 yang telah memberikan masukan dan semangat selama pengerjaan Tugas Akhir.
 9. Kepada semua kru laboratorium MMD yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
 10. Dan kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Harapan penulis, semoga nanti akan ada usaha untuk penyempurnaan dari Tugas Akhir ini karena masih jauh dari kesempurnaan maka saran dan kritik yang konstruktif dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan selanjutnya.

Dengan selesainya Laporan Tugas Akhir ini penulis berharap semoga bisa bermanfaat bagi khalayak banyak, dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi penulis dan para pembaca pada umumnya. Laporan Tugas Akhir ini diselesaikan semata-mata mengharap ridho Allah, dan syarat akademik untuk menyelesaikan pendidikan program S1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Semoga Allah SWT meridhoi dan dicatat sebagai ibadah disisi-Nya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Potensi Energi Gelombang Laut Indonesia	5
2.2 Gelombang Laut	6
2.3 Energi Gelombang Laut	7
2.4 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik	9
2.5 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandul (PLTGL-SB)	10

2.6 Pengukuran Respon Gerak Ponton.....	11
2.7 Konversi Gerakan Kemiringan Ponton terhadap Simpangan Bandul.....	13
2.8 Perhitungan Daya PLTGL-SB	14
2.8.1. Perhitungan Torsi pada Bandul	14
2.8.2. Momen Inersia pada Bandul.....	14
2.8.3. Perhitungan Kecepatan Sudut Natural pada bandul....	15
2.8.4. Perhitungan Kecepatan Sudut pada bandul	15
2.8.5. Perhitungan Energi Kinetik pada bandul	16
2.8.6. Daya yang dihasilkan bandul	16
2.8.2. Perhitungan Pada Sistem Transmisi	16
2.9 Pengertian Penggerak Rantai	18
2.9.1 Pedoman Perancangan Rantai-Sprocket.....	21
2.9.2 Menentukan Nomor Rantai dan Sprocket.....	23
2.9.3 Dimensi Sistem Transmisi Rantai dan Sprocket.....	27
2. 10. Pulau Bawean	29
2.11 The European Marine Energy Centre (EMEC)	30
BAB III.....	31
METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1. Perumusan Masalah	33
3.2. Studi Literatur	33
3.3. Pengumpulan Data	34
3.4 Analisa respon Gerak Ponton dan Simpangan Sudut Bandul akibat Gelombang Laut.....	35
3.5 Perhitungan Daya PLTGL-SB	35

3.6 Analisa biaya per kWh.....	36
3.7 Analisa kebutuhan Listrik Pulau Bawean.....	36
3.8 Analisa Kelayakan Teknis.....	36
3.9 Penarikan Kesimpulan dan Saran.....	36
BAB IV	37
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data Kependudukan Pulau Bawean	37
4.2 Data Kelistrikan Pulau Bawean.....	38
4.3 Analisa gerakan ponton akibat Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang Signifikan	40
4.4 Analisa Simpangan Sudut Bandul.....	41
4.5 Perhitungan Daya PLTGL-SB	44
4.5.1. Perhitungan Torsi pada Bandul	45
4.5.2. Momen Inersia pada Bandul.....	46
4.5.3. Perhitungan Kecepatan Sudut Natural pada bandul....	47
4.5.4. Perhitungan Kecepatan Sudut pada bandul	48
4.5.5. Perhitungan Energi Kinetik pada bandul	48
4.5.6. Daya yang dihasilkan bandul	49
4.5.7. Perhitungan pada Sistem Transmisi	52
4.5.8. Perhitungan Pada <i>Multistage Generator</i>	56
4.6 Perhitungan <i>Sprocket</i>	59
4.7 Perhitungan Flywheel	62
4.8 Analisa Biaya.....	63
4.9 Analisa kebutuhan Listrik di Pulau Bawean.....	67

4.10. Analisa Kelayakan Teknis.....	69
4.10.1. Lokasi	69
4. 10.2. Kelistrikan.....	69
BAB V	73
KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75

Lampiran
Biodata Penulis

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Pulau Bawean-Gresik	2
Gambar 2. 1. Animasi pergerakan partikel zat cair pada gelombang	6
Gambar 2. 2. Pergerakan air laut.....	8
Gambar 2. 3. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul	11
Gambar 2. 4 Skematik Sistem Transmisi Rantai-Sprocket.....	18
Gambar 2. 5 Bagian-bagian dari Rantai	19
Gambar 2. 6 Sprocket	20
Gambar 2. 7 Jenis-jenis Roller Chain.....	22
Gambar 2. 8 <i>Diameter Pitch Sprocket</i>	27
Gambar 2. 9 <i>Panjang rantai = Keliling rantai</i>	28
Gambar 2. 10 <i>Jarak Antar Pusat Sprocket Actual</i>	28
Gambar 2. 11 Peta Pulau Bawean Gresik.....	30
Gambar 3. 1. <i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir.....	33
Gambar 3. 2. Lokasi yang akan ditinjau dalam Tugas Akhir.	35
Gambar 4. 1. Peta Pulau Bawean	37
Gambar 4. 2 <i>Peta single line</i> 20 Kv PLTD Sangkapura (PLN Bawean, 2012)	39
Gambar 4. 3 Grafik hasil analisa RAO pada arah 90°	40
Gambar 4. 4 . RAO <i>rolling</i> pada heading 90°	41
Gambar 4. 5 <i>freebody diagram</i> bandul.....	45
Gambar 4. 6 . Grafik Daya Terhadap Simpangan	51
Gambar 4. 7 Grafik Torsi Terhadap Simpangan	51
Gambar 4. 8 Desain Sistem Transmisi PLTGL-SB Model Tripod.....	53
Gambar 4. 9 Spesifikasi PMG Alxion 500 STK2M.....	58

Gambar 4. 10 Grafik antara Daya Vs Putaran dari Generator Alxion 500 STK2M	59
Gambar 4. 11 Grafik antara Torsi Vs Putaran dari Generator Alxion 500 STK2M	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 <i>Standart rantai jenis rol (roller chain)</i>	19
Tabel 2 2 <i>Nilai Daya Transmisi Rantai, No. 25, Pitch 1/4 inch</i> ...	24
Tabel 2 3 <i>Nilai Daya Transmisi Rantai, No. 35, Pitch 3/8 inch</i> ...	25
Tabel 2 4 <i>Nilai Daya Transmisi Rantai, No. 50, Pitch 5/8 inch</i>	26
 Tabel 4. 1 Data Pelanggan Rayon Bawean (PLN Gresik, 2012) ..	39
Tabel 4. 2 Simpangan sudut bandul yang terjadi akibat kemiringan ponton.....	43
Tabel 4. 3 Data lingkungan dari daerah sasaran Tahun 2007-2012.	44
Tabel 4. 4 Torsi yang dihasilkan bandul dari variasi massa dan simpangan.....	49
Tabel 4. 5 Daya yang dihasilkan bandul dari variasi massa dan simpangan.....	50
Tabel 4. 6 Parameter dasar yang dihasilkan bandul	52
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan torsi pada transmisi sprocket ke-1 ..	54
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Torsi pada transmisi sprocket ke -2 :	55
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Torsi pada Sprocket ke -3	56
Tabel 4. 10 Parameter inputan dari sistem transmisi	57
Tabel 4. 11 Perencanaan biaya Instalasi PLTGL-SB di Pulau Bawean	64
Tabel 4. 12 Perencanaan biaya pemasangan mooring dan kabel bawah laut.....	66
Tabel 4. 13 Data usulan perencanaan pengaliran listrik di Pulau bawean Kecamatan tambak 2012 (PLN, Bawean, 2012)	68



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, pengembangan wilayah dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi listrik dan juga bahan bakar secara nasional pun semakin besar. Selama ini kebutuhan energi dunia dipenuhi oleh sumber daya tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara. Namun tidak selamanya energi tersebut bisa mencukupi seluruh kebutuhan manusia dalam jangka waktu panjang mengingat cadangan energi tersebut makin lama akan habis bila terus menerus digunakan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu energi alternatif yang dapat diperbarui. Selain dapat terbarukan, juga dibutuhkan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan dengan biaya murah.

Sebagai Negara maritim, wilayah perairan Indonesia menyimpan banyak sekali kekayaan energi. Salah satunya adalah di perairan pulau Bawean Gresik. Berdasarkan pengamatan BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya di peisisir Pulau Bawean memiliki tinggi gelombang signifikan berkisar antara 0,1 – 3 m dimana sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) [3]. Namun sayang potensi ini masih belum dimaksimalkan dengan baik oleh masyarakat maupun pemerintah Gresik.

Sementara ini pembangkit listrik di Pulau Bawean, yang akan ditinjau dalam penelitian ini masih menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang bahan bakarnya menggunakan solar. Seperti yang diketahui bahwa bahan bakar

solar merupakan bahan bakar yang tidak ramah lingkungan dan membutuhkan biaya operasional yang sangat tinggi.



Gambar 1. 1. Pulau Bawean-Gresik [7]

Di PLN Gresik sudah tercatat 16.509 rumah tangga yang sudah teraliri listrik, namun sekitar 2.750 rumah tangga yang belum teraliri listrik maupun yang masih tercatat di daftar tunggu calon pelanggan. Tentu saja hal ini dirasa kurang efisien karena biaya produksi 4 kali lebih mahal dibandingkan pemasukan yang didapat [3]. Untuk itu dibutuhkan suatu solusi tentang permasalahan tersebut dengan menggunakan pemanfaatan sumber daya alam yang kontinyu sebagai pembangkit listrik.

Sehingga dengan permasalahan tersebut mengidentifikasi potensi lokal merupakan solusi pengembangan pulau-pulau kecil, pengembangan konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik. Salah satu energi yang dapat dimanfaatkan di Pulau Bawean adalah energi gelombang laut. Maka melalui tugas akhir ini akan dibahas tentang studi kelayakan teknis PLTGL-SB di Pulau Bawean Gresik.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Berapakah besar daya *output* dari PLTGL-SB yang diterapkan di pantai utara Pulau Bawean?
2. Berapakah total beban yang mampu disuplai oleh PLTGL-SB?
3. Apakah pembangunan PLTGL-SB layak di tempatkan pulau Bawean Gresik?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menegaskan dan lebih fokus dalam membahas permasalahan yang akan dianalisa dalam penelitian Tugas Akhir ini, maka diperlukan beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Daerah penelitian dilakukan di Pulau Bawean Gresik
2. Untuk penentuan lokasi PLTGL didapatkan dari penelitian sebelumnya, yaitu di utara Pulau Bawean desa Diponggo.
3. Jenis teknologi PLTGL yang dibahas dalam studi pemilihan ini hanya terbatas pada jenis sistem bandul (PLTGL-SB) model tripod.
4. Besar potensi daya dari lokasi sudah dianalisa pada penelitian sebelumnya.
5. Standar yang digunakan dalam perhitungan potensi gelombang adalah *The European Marine Energi Centre* (EMEC).

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini berhubungan dengan rumusan masalah yang ingin diteliti di atas, yaitu:

1. Mengetahui besar daya *output* yang dihasilkan teknologi PLTGL-SB yang akan diaplikasikan di pesisir Pulau Bawean Gresik.
2. Mengetahui jumlah beban yang mampu disuplai atau dipenuhi oleh PLTGL-SB.
3. Mengetahui apakah pembangunan PLTGL-SB layak atau tidak ditempatkan di pulau Bawean Gresik.

1.5 Manfaat

Manfaat yang secara umum dapat diambil dari penelitian yang dilaksanakan adalah:

1. Memberi informasi mengenai *renewable energi* yang berasal dari energi gelombang laut dan referensi untuk pembangunan PLTGL-SB selanjutnya.
2. Mengatasi masalah kelistrikan di Pulau Bawean.
3. Bahan referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

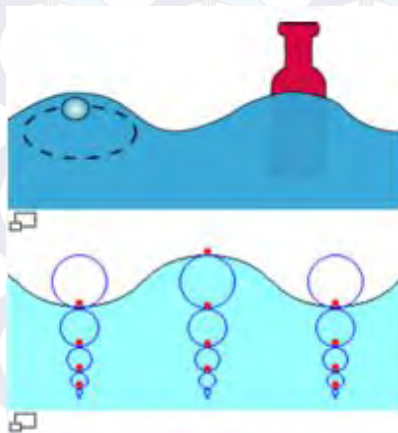
2.1 Potensi Energi Gelombang Laut Indonesia

Potensi tingkat teknologi saat ini diperkirakan bisa mengonversi permeter panjang pantai menjadi daya listrik sebesar 20-35 kW (panjang pantai Indonesia sekitar 80.000 km, yang terdiri dari sekitar 17.000 pulau, dan sekitar 9.000 pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau arus listrik nasional, dan penduduknya hidup dari hasil laut). Dengan perkiraan potensi semacam itu, seluruh pantai di Indonesia dapat menghasilkan lebih dari 2~3 Terra Watt Ekuivalensi listrik, bahkan tidak lebih dari 1% panjang pantai Indonesia (~800 km) dapat memasok minimal ~16 GW atau sama dengan pasokan seluruh listrik di Indonesia tahun ini [3]. Pada kondisi tersebut telah memicu banyak penelitian tentang teknologi konversi energi untuk dikembangkan di Indonesia.

Berdasarkan pengamatan BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya di pesisir Pulau Bawean menunjukkan tinggi gelombang signifikan berkisar antara 0,1 – 3 m, sehingga membutuhkan teknologi pembangkit listrik yang dapat menangkap tinggi gelombang minimum yang terjadi di daerah pesisir Bawean [3]. Teknologi yang bisa digunakan antara lain yaitu *Oscillating Water Column* (OWC), sistem bandul, dan *Tapped Channel* (Tapchan). Teknologi tersebut bisa mengkonversi tinggi gelombang laut minimal 0,2 – 0,5 m menjadi energi listrik. Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai pemanfaatan energi gelombang laut menggunakan teknologi sistem bandul sebagai energi terbarukan untuk merancang pembangkit listrik tenaga gelombang laut di pesisir Pulau Bawean Gresik [3].

2.2 Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang. Gelombang yang terjadi di alam tidaklah teratur (acak) dan sangat kompleks, dimana masing-masing gelombang di dalam suatu *spectrum* (deretan) gelombang mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Biasanya gelombang diasumsikan bahwa gelombang itu teratur dan sama karakteristiknya.



Gambar 2. 1. Animasi pergerakan partikel zat cair pada gelombang [4]

Bila waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut dihitung dari data jumlah gelombang laut yang teramati pada sebuah selang tertentu, maka dapat diketahui potensi energi gelombang laut di titik lokasi tersebut. Potensi energi gelombang laut pada satu titik pengamatan dalam satuan kw per meter

berbanding lurus dengan setengah dari kuadrat ketinggian signifikan dikali waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut. Berdasarkan perhitungan ini dapat diprediksikan berbagai potensi energi gelombang laut di berbagai tempat di dunia [5].

2.3 Energi Gelombang Laut

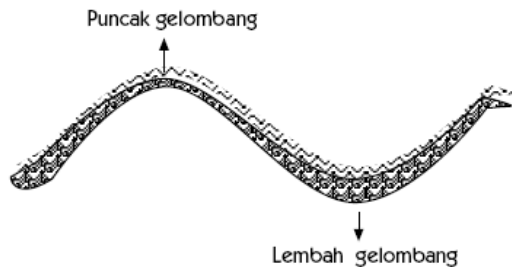
Salah satu potensi laut dan samudra yang belum banyak diketahui masyarakat umum adalah potensi energi laut dan samudra untuk menghasilkan listrik. Negara yang melakukan penelitian dan pengembangan potensi energi samudra untuk menghasilkan listrik adalah Inggris, Prancis dan Jepang.

Secara umum, potensi energi samudra yang dapat menghasilkan listrik dapat dibagi kedalam 3 jenis potensi energi yaitu energi pasang surut (*tidal power*), energi gelombang laut (*wave energy*) dan energi panas laut (*ocean thermal energy*). Energi pasang surut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan air laut akibat perbedaan pasang surut. Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya. Sedangkan energi panas laut memanfaatkan perbedaan temperatur air laut di permukaan dan di kedalaman. Meskipun pemanfaatan energi jenis ini di Indonesia masih memerlukan berbagai penelitian mendalam, tetapi secara sederhana dapat dilihat bahwa probabilitas menemukan dan memanfaatkan potensi energi gelombang laut dan energi panas laut lebih besar dari energi pasang surut.

Pada dasarnya pergerakan laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dorongan pergerakan angin. Angin timbul akibat perbedaan tekanan pada 2 titik yang diakibatkan oleh respons pemanasan udara oleh matahari yang berbeda di kedua

titik tersebut. Mengingat sifat tersebut maka energi gelombang laut dapat dikategorikan sebagai energi terbarukan.

Gelombang laut secara ideal dapat dipandang berbentuk gelombang yang memiliki ketinggian puncak maksimum dan lembah minimum. Pada selang waktu tertentu, ketinggian puncak yang dicapai serangkaian gelombang laut berbeda-beda, bahkan ketinggian puncak ini berbeda-beda untuk lokasi yang sama jika diukur pada hari yang berbeda. Meskipun demikian secara statistik dapat ditentukan ketinggian signifikan gelombang laut pada satu titik lokasi tertentu.



Gambar 2. 2. Pergerakan air laut [5]

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengkonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan, saat ini, ada beberapa alternatif teknologi yang dapat dipilih.

Keuntungan pemanfaatan energi gelombang adalah:

- Energi ini bebas, tidak perlu bahan bakar, tidak ada limbah atau polusi
- Sumber energi yang dapat diperbaharui
- Dapat menghasilkan banyak energi
- Biaya tidak mahal
- Energi ombak adalah energi yang bisa didapat setiap hari, tidak akan pernah habis
- Mudah untuk mengkonversi energi listrik dari energi mekanik pada ombak

Kekurangan pemanfaatan energi gelombang adalah :

- Diperlukan alat khusus yang memerlukan teknologi tinggi, sehingga tenaga ahli sangat diperlukan
- Biaya instalasi dan pemeliharaannya yang cukup besar

Tantangan teknis tersendiri untuk para insinyur dalam desain sistem turbin, sistem roda gigi, dan sistem generator yang dapat bekerja secara terus-menerus selama lebih kurang lima tahun.

2.4 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik

Penelitian untuk mempelajari kemungkinan pemanfaatan energi yang tersimpan dalam ombak laut sudah mulai banyak dilakukan. Salah satu Negara yang sudah banyak meneliti hal ini adalah Inggris. Berdasarkan hasil pengamatan yang ada, deretan ombak (gelombang) yang terdapat di sekitar pantai Selandia Baru dengan tinggi rata-rata 1 meter dan periode 9 detik mempunyai daya sebesar 4,3 Kw per meter panjang ombak. Sedangkan deretan

ombak serupa dengan tinggi 2 meter dan 3 meter dayanya sebesar 39 Kw per meter panjang ombak. [3].

Untuk di Indonesia sendiri, berdasarkan data dari BPPT banyak terdapat ombak yang ketinggian di atas 5 meter sehingga potensi energi gelombangnya dapat diteliti lebih jauh. Negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Inggris, Jepang, Finlandia, dan Belanda banyak menaruh perhatian pada energi ini. Lokasi potensial untuk membangun sistem energi gelombang adalah di laut lepas, daerah lintang sedang, dan perairan pantai. Energi gelombang bisa dikembangkan di Indonesia di laut selatan Pulau Jawa dan barat Pulau Sumatera.

2.5 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandul (PLTGL-SB)

Teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut di Indonesia pertama kali dikembangkan pada tahun 2002 oleh Zamrisyaf (Staf Puslitbang PLN), menggunakan sistem bandul. Pembangkit ini dapat dikategorikan dalam skema *Oscillating Bodies* dengan sistem transmisi atau konversi energi dengan menggunakan motor hidrolik, turbin hidrolik atau generator linier. Pada teknologi ini, gelombang laut yang bergerak dengan parameter periode dan tinggi gelombang tertentu yang menabrak dinding lambung ponton (*hull*) dan menimbulkan gerakan.



Gambar 2. 3. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul [3]

Hal ini disebabkan adanya momentum partikel air laut pada lambung ponton. Bandul yang berada di atas ponton akan bergerak karena gerakan ponton dan menghasilkan gerakan rotasi (bandul posisi horizontal) serta gerakan bolak-balik (bandul posisi vertikal). Generator yang terhubung oleh bandul akan ikut bergerak dan mendapatkan energi listrik dengan sistem langsung atau tidak langsung, maupun dengan menggunakan sistem hidrolik atau mekanik. Semua peralatan pendukung ponton diletakkan di atas ponton, sehingga pemeliharannya akan lebih mudah [3].

2.6 Pengukuran Respon Gerak Ponton

Dalam hal ujicoba erat kaitannya dengan respon gerakan suatu struktur dalam pembahasan ini adalah ponton, yang mana harus kita ketahui cara mendapatkan respon gerakan tersebut. Respon gerakan suatu bangunan apung (ponton) dipengaruhi oleh beban gelombang.

Dalam suatu teori Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua

kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode gerak translasional
 - Surge, gerakan transversal arah sumbu x
 - Sway, gerakan transversal arah sumbu y
 - Heave, gerakan transversal arah sumbu z
2. Mode gerak rotasional
 - Roll, gerakan rotasional arah sumbu x
 - Pitch, gerakan rotasional arah sumbu y
 - Yaw, gerakan rotasional arah sumbu z

Secara empiris perhitungan gerakan struktur bangunan apung di atas gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum gerakan struktur bangunan apung. Hal ini dapat dilakukan dengan memperkalikan harga pangkat dua dari response amplitude operator (RAO) dan mode gerakan tertentu dengan ordinat spektrum gelombang, pada frekuensi yang sama. Pendekatan yang diusulkan oleh Denis dan Pierson (1953) ini valid bila harga RAO adalah merupakan normalisasi amplitudo gerakan dengan amplitudo gelombang. Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan Transfer Function merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{Xp(\omega)}{\eta(\omega)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : $Xp(\omega)$ = Amplitudo getaran
 $\eta(\omega)$ = Amplitudo gelombang

Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

Dimana: S_R = Spektrum respons ($m^2 \cdot sec$)
 $S(\omega)$ = Spektrum gelombang ($m^2 \cdot sec$)
 $RAO(\omega)$ = Transfer Function
 ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

Hal tersebut adalah sama dengan mengubah energi gelombang menjadi energi respons, atau dengan kata lain mengubah spektra gelombang menjadi spektra respons.

Dalam analisa gerakan struktur bangunan apung di atas gelombang acak, setelah spektrum gerakan diperoleh dengan prosedur di atas pada pengolahan data gelombang, maka besaran-besaran seperti amplitudo signifikan gerakan, kecepatan dan percepatan dapat ditentukan dengan menghitung momen-momen spektrum. Dari persamaan gerak ini didapatkan hasil berupa karakteristik gerakan struktur bangunan apung. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, di mana perbandingan gerakan pada mode tertentu dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, diberikan sebagai fungsi frekuensi encounter ω_e dari sumber eksitasi. Informasi gerakan ini dinamakan Response Amplitudo Operator (RAO).

2.7 Konversi Gerakan Kemiringan Ponton terhadap Simpangan Bandul

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Junianto, 2014) [13]. Telah berhasil didapatkan rumusan derajat kemiringan ponton akibat gerakan gelombang laut dan juga kolerasinya terhadap besar simpangan yang terjadi pada bandul. Berikut merupakan turunan rumus berdasarkan metode Laplace.

$$\alpha(s) = \frac{(m_2 GS^2 - m_2 GS L_2) s^2 - 2 m_2 g GS \theta(s)}{(m_2 GS^2 L_2 - m_2 L_2) s^2 - m_2 g L_2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : θ = Sudut kemiringan ponton (radian)

α = Simpangan bandul (radian)

m_2 = Massa bandul (kg)

GS = Jarak dari COG menuju titik tertinggi bangunan (m)

L_2 = Panjang lengan bandul (m)

s = Faktor Laplace

2.8 Perhitungan Daya PLTGL-SB

2.8.1. Perhitungan Torsi pada Bandul :

Torsi adalah gaya yang menyebabkan benda bergerak melingkar. Berikut merupakan persamaan perhitungan torsi pada bandul :

$$T = T_{\text{lengan}} + T_{\text{bandul}}$$

$$T = (m_r \times \frac{1}{2} l \times g \times \sin\theta) + (m_d \times l \times g \times \sin\theta)$$

$$T = (\frac{1}{2} m_r + m_d) \times g \times l \times \sin\theta \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

T : torsi (Nm)

m_r : massa lengan (kg)

m_d : massa bandul (kg)

l : panjang lengan (m)

g : gravitasi (kg/m^2)

2.8.2. Momen Inersia pada Bandul :

Momen inersia merupakan sifat yang dimiliki benda untuk mempertahankan posisinya dari gerak berotasi. Berikut merupakan persamaan perhitungan momen inersia:

$$I = I_{\text{lengan}} + I_{\text{bandul}}$$

$$I = (1/3 \cdot m_r \cdot l^2) + (m_d \cdot l^2) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

I : momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

m_r : massa lengan (kg)

m_d : massa bandul (kg)

l : panjang lengan (m)

2.8.3. Perhitungan Kecepatan Sudut Natural pada bandul :

Besar kecepatan sudut natural pada bandul dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{(\frac{1}{2} m_r + m_d)g \cdot l}{(\frac{1}{3} m_r + m_d)l^2}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

ω_n : kecepatan sudut natural (rad/sec)

m_r : massa lengan (kg)

m_d : massa bandul (kg)

l : panjang lengan (m)

2.8.4. Perhitungan Kecepatan Sudut pada bandul :

Besar kecepatan sudut pada bandul dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\omega = \sqrt{\frac{2xgxh}{md}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

ω : kecepatan sudut (rad/sec)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

h : simpangan bandul (m)

m_d : massa bandul (kg)

2.8.5. Perhitungan Energi Kinetik pada bandul :

Besar energi kinetik yang terdapat pada bandul dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_k = 0,5 \times I \times \omega^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

E_k : energi kinetik (Joule)

I : momen inersia (kg.m^2)

ω : kecepatan sudut (rad/sec)

2.8.6. Daya yang dihasilkan bandul :

Besar daya yang ditransmisikan dari bandul adalah sebagai berikut :

$$P = \omega \times T \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

P : Daya (Watt)

ω : kecepatan sudut (rad/sec)

T : torsi (Nm)

2.8.2. Perhitungan Pada Sistem Transmisi

Pada sistem transmisi dari bandul untuk menuju ke *multistage generator* menggunakan tiga buah gear dengan perbandingan *ratio* yang sama.

2.8.2.1 Sprocket ke-1 :

Pada sprocket pertama menggunakan *ratio* 1:3 pada kecepatan sudut yang dihasilkan oleh gear. Sehingga jika kecepatan sudutnya naik maka torsi dari bandul akan turun menjadi tiga kali lipatnya. Dengan asumsi losses yang terjadi sebesar 98% pada sistem transmisi ini, sehingga daya yang

distransmisikan dari bandul nilainya berkurang sebesar 98%.. Berikut merupakan rumus perhitungannya :

$$P_{\text{bandul}} = P_{\text{gear1}}$$

$$\omega_{\text{bandul}} \times T_{\text{bandul}} = \omega_{\text{gear1}} \times T_{\text{gear1}} \dots\dots\dots(2.9)$$

2.8.2.2 Sprocket ke -2 :

Pada gear kedua sama dengan sprocket pertama, yaitu menggunakan ratio 1:3 pada kecepatan sudut yang dihasilkan oleh gear. Sehingga jika kecepatan sudutnya naik maka torsi dari bandul akan turun menjadi tiga kali lipatunya. Dengan asumsi losses yang terjadi sebesar 98% pada sistem transmisi ini, sehingga daya yang distransmisikan dari bandul nilainya berkurang sebesar 98%.. Berikut perhitungannya :

$$P_{\text{gear1}} = P_{\text{gear2}}$$

$$\omega_{\text{gear1}} \times T_{\text{gear1}} = \omega_{\text{gear2}} \times T_{\text{gear2}} \dots\dots\dots(2.10)$$

2.8.2.3 Sprocket ke -3 :

Pada gear ketiga sama dengan sprocket pertama dan kedua, yaitu menggunakan ratio 1:3 pada kecepatan sudut yang dihasilkan oleh gear. Sehingga jika kecepatan sudutnya naik maka torsi dari bandul akan turun menjadi tiga kali lipatunya. Dengan asumsi losses yang terjadi sebesar 98% pada sistem transmisi ini, sehingga daya yang distransmisikan dari bandul nilainya berkurang sebesar 98%.. Berikut perhitungannya :

$$P_{\text{gear2}} = P_{\text{gear3}}$$

$$\omega_{\text{gear2}} \times T_{\text{gear2}} = \omega_{\text{gear3}} \times T_{\text{gear3}} \dots\dots\dots(2.11)$$

➤ **Daya yang masuk ke Generator :**

$$P = \tau \times \omega \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

τ : Torsi (Nm)

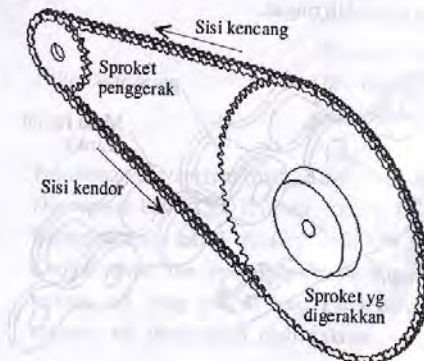
ω : Kecepatan Sudut (rad/sec)

➤ **Daya keluaran Generator**

Untuk daya keluaran dari PMG dapat dilihat dari grafik spesifikasinya setelah terpilih generator yang tepat berdasarkan perhitungan.

2.9 Pengertian Penggerak Rantai [9]

Rantai adalah suatu elemen transmisi daya yang dibuat dari rangkaian mata rantai (link) dan pin. Ketika meneruskan daya di antara poros-poros berputar, rantai “menarik” suatu roda bergerigi yang dinamakan sprocket.



Gambar 2. 4 Skematik Sistem Transmisi Rantai-Sprocket [9]

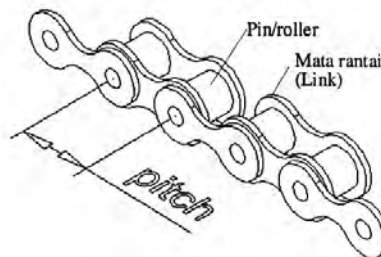
Jenis rantai yang paling umum dipakai adalah “roller chain” dimana rol-rol pada tiap pin menghasilkan gesekan yang

kecil antara rantai dan sprocket. Rantai jenis rol ini dapat diklasifikasikan sesuai jarak pitch nya, yaitu jarak antara link terdekat. Biasanya, pitch diilustrasikan sebagai jarak antara dua pusat pin yang terdekat. Untuk berbagai ukuran, standart dari rantai jenis rol dapat dilihat tabel dibawah ini (yang dipakai adalah no 40 sampai 240).

Tabel 2 1 *Standart rantai jenis rol (roller chain)*

Nomor rantai	Pitch (in)	Nomor rantai	Pitch (in)
25	$\frac{1}{4}$	100	1,25
35	$\frac{3}{8}$	120	1,5
41	$\frac{1}{2}$	140	1,75
40	$\frac{1}{2}$	160	2
50	$\frac{5}{8}$	180	2,25
60	0,75	200	2,5
80	1	240	3

Digit nomor rantai (selain angka nol terakhir) menyatakan pitch rantai jika dibagi 8 (dalam inch). Sebagai contoh rantai no. 100 memiliki pitch $\frac{100}{8} = 1.25$ inch. Rantai dengan nomor 25, 35 dan 50 merupakan jenis rantai lebih kecil dan ringan.



Gambar 2. 5 Bagian-bagian dari Rantai [10]

Selama pemakaian rantai dan sprocket akan terjadi gesekan antara bagian penyusunnya. Untuk mengurangi gesekan itu dan meningkatkan unjuk kerja rantai maka diberikan pelumas seperlunya. Beberapa produsen pembuat rantai memberikan tiga metode pemberian pelumas pada rantai yang bergantung pada kecepatan linier rantai.



Gambar 2. 6 Sprocket [10]

Jenis 1

Pelumas manual atau pelumas tetes (manual or drip lubrication) dengan kecepatan $170-650 \text{ ft/menit} = 0,83-3,25 \text{ m/s}$. Pelumas manual adalah pelumas diberikan dengan menggunakan sikat atau cerat kaleng, paling tidak 1X tiap 8 jam operasi. Sedangkan pelumas tetes adalah Oli ditetaskan langsung pada rantai.

Jenis II

Pelumas bak/cakram (bath or disc lubrication) dengan kecepatan $650-1500 \text{ ft/menit} = 3,25-7,5 \text{ m/s}$ yaitu proses pelumasan sebagian mata rantai tercelup pada bak yang berisi oli. Ketika rantai beroperasi, seluruh bagian rantai akan terkena oli yang ada di bak. Pada pelumasan dengan cakram, oli dicipratkan oleh

cakram yang berputar ke rantai. Dengan cara ini, rantai tidak terendam ke dalam bak oli.

Jenis III

Pelumasan aliran oli (oil steam lubrication) dengan kecepatan diatas 1500 ft/menit) yaitu proses pelumasan dengan sebuah pompa oli mengalirkan oli secara kontinu ke bagian bawah rantai.

2.9.1 Pedoman Perancangan Rantai-Sprocket [9]

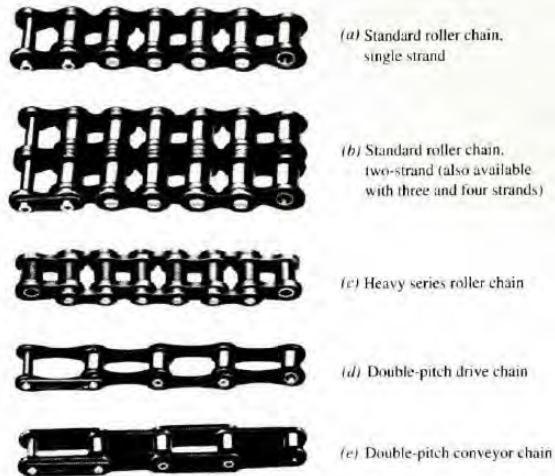
Dalam memilih dan menggunakan rantai-sprocket sebagai elemen penerus daya dan putaran, da beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain :

1. Desain berdasarkan pada sprocket terkecil dari pasangan transmisi rantai
2. Untuk kecepatan tertentu, kapasitas daya meningkat sebanding dengan jumlah gigi sprocket. Semakin besar diameter sprocket, jumla gigi semakin banyak. Rantai dengan pitch semakin kecil pada sprocket besar yang mampu menghasilkan bunyi halus
3. Untuk ukuran tertentu, kapasitas daya yang meningkat dan terus meningkat pada satu titik tertentu dan kemudian turun. Fatik (kelelahan) yang disebabkan oleh tarikan rantai terjadi pada kecepatan rendah hingga sedang, impact (benturan) yang terjadi pada kecepatan lebih tinggi
4. Desain didasarkan pada untaian rantai tunggal (single strand). Untaian rantai yang lebih dari satu dapat meningkatkan kapasitas daya walaupun tidak sebesar kelipatannya. Untuk itu factor pengali yang dimaksud sebesar :

2 untaian rantai, factor pengali = 1.7

3 untaian rantai, factor pengali = 2.5

4 untaian rantai, factor pengali = 3.3



Gambar 2. 7 Jenis-jenis Roller Chain [9]

5. Angka-angka di atas berdasarkan pada factor servis 1,0. Untuk berbagai aplikasi / keperluan factor servis yang ditabelkan
6. Jumlah gigi minimum sprocket adalah 17 gigi walaupun beroperasi pada putaran kurang dari 100 rpm
7. Rasio putaran maksimum = 7 (untuk 1 stage). Untuk rasio putaran lebih tinggi maka jumlah rangkaian lebih dari 1
8. Jarak antar pusat sprocket 30 – 50 kali pitch
9. Sudut kontak sprocket kecil $> 120^\circ$
10. Jumlah gigi pada sprocket besar maksimum 120 gigi
11. Susunan pemasangan transmisi rantai :

- a. Horizontal
 - b. Sisi kencang ada di bagian atas
12. Jarak antar pusat sprocket harus dapat diubah-ubah atau diatur
13. Diameter sprocket minimum dan jumlah gigi sprocket minimum dibatasi oleh diameter poros

Jika kita memerlukan transmisi rantai dan sprocket untuk keperluan tertentu maka sudah sewajarnya ada beberapa item yang perlu diketahui, sebagai contoh :

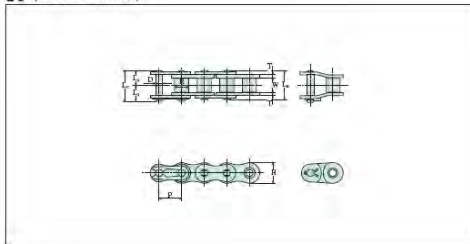
- a. Rantai dan sprocket yang akan dipakai nomor berapa?
- b. Berapa ukuran sprocket yang digunakan dan berapa jumlah giginya?
- c. Berapa panjang rantai yang dibutuhkan?
- d. Berapa jarak antar pusat sprocket?

2.9.2 Menentukan Nomor Rantai dan Sprocket [9]

Nomor rantai atau sprocket dapat ditentukan berdasarkan tabel nilai daya dengan ditunjukkan nomor rantai yaitu 25, 35, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 240, . Angka-angka yang terdapat dalam tabel adalah besaran nilaidaya (dalam satuan hp). Data yang perlu diketahui terlebih dahulu selain nilai daya yaitu putaran sprocket kecil dalam satuan rpm. Kemudian dari dua variable itu selanjutnya menentukan ukuran rantai yang digunakan.

Tabel 2 2 Nilai Daya Transmisi Rantai, No. 25, Pitch 1/4 inch [10]

25 (BUSHED CHAIN)



Chain No.	Dimensions-mm										Average Ultimate Strength	Maximum Allowable Load	Average Chain Weight	
	Pitch	Bushing		Pin					Plate					
		Width	Dia.	Dia.	Length			Height	Thick.					
					P	W	R			D				L _R
25	6.35	3.2	3.3	2.30	7.9	8.8	4.8	4.0	5.8	0.75	kN	kN	kg/m	0.14

25	6.35	3.2	3.3	2.30	7.9	8.8	4.8	4.0	5.8	0.75	4.9	0.68	0.14
----	------	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	------	------

KILLOWATT RATINGS OF 25

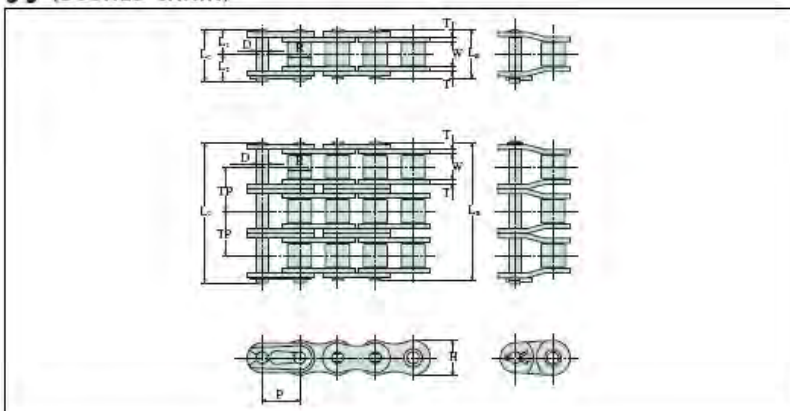
(kw)

No. of Teeth Small Sprocket	Revolutions per Minute (RPM) Small Sprocket															
	100	500	800	1200	1800	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
	Lubrication Method															
11	0.05	0.21	0.35	0.45	0.65	0.87	1.03	1.18	1.03	0.86	0.74	0.64	0.56	0.5	0.44	0.4
12	0.05	0.23	0.38	0.5	0.71	0.96	1.13	1.3	1.17	0.98	0.84	0.73	0.64	0.57	0.51	0.46
13	0.06	0.25	0.42	0.54	0.78	1.05	1.23	1.42	1.32	1.11	0.95	0.82	0.72	0.64	0.57	0.52
14	0.06	0.27	0.45	0.59	0.84	1.13	1.34	1.53	1.46	1.24	1.06	0.92	0.8	0.71	0.64	0.58
15	0.07	0.29	0.49	0.63	0.91	1.22	1.44	1.65	1.64	1.37	1.17	1.02	0.89	0.79	0.71	0.64
16	0.07	0.31	0.52	0.68	0.97	1.31	1.54	1.77	1.81	1.51	1.29	1.12	0.98	0.87	0.78	0.7
17	0.08	0.33	0.56	0.72	1.04	1.4	1.65	1.89	1.98	1.66	1.41	1.23	1.08	0.95	0.85	0.77
18	0.08	0.35	0.59	0.77	1.11	1.49	1.75	2.01	2.15	1.81	1.54	1.34	1.17	1.04	0.93	0.84
19	0.09	0.37	0.62	0.81	1.17	1.56	1.86	2.13	2.34	1.96	1.67	1.45	1.27	1.13	1.01	0.91
20	0.09	0.39	0.66	0.86	1.24	1.67	1.96	2.25	2.52	2.11	1.81	1.56	1.37	1.22	1.09	0.98
21	0.1	0.41	0.7	0.91	1.31	1.76	2.07	2.38	2.68	2.28	1.94	1.68	1.48	1.31	1.17	1.06
22	0.1	0.43	0.74	0.95	1.37	1.85	2.18	2.5	2.82	2.44	2.08	1.81	1.58	1.41	1.26	1.13
23	0.11	0.46	0.77	1.0	1.44	1.94	2.28	2.62	2.96	2.61	2.23	1.93	1.69	1.5	1.34	1.21
24	0.11	0.48	0.81	1.05	1.51	2.03	2.39	2.75	3.1	2.78	2.37	2.06	1.81	1.6	1.43	1.29
25	0.12	0.5	0.85	1.09	1.58	2.12	2.5	2.87	3.24	2.96	2.52	2.19	1.92	1.7	1.52	1.37
26	0.12	0.52	0.88	1.14	1.65	2.21	2.61	2.99	3.38	3.13	2.68	2.32	2.04	1.81	1.62	1.46
28	0.13	0.56	0.96	1.24	1.78	2.4	2.82	3.24	3.66	3.5	2.99	2.59	2.28	2.02	1.81	1.63
30	0.14	0.61	1.03	1.33	1.92	2.58	3.04	3.49	3.94	3.68	3.32	2.87	2.52	2.24	2.0	1.81
32	0.15	0.65	1.1	1.43	2.06	2.77	3.26	3.75	4.22	4.28	3.65	3.17	2.78	2.47	2.21	1.99
35	0.17	0.72	1.22	1.57	2.27	3.05	3.59	4.13	4.65	4.9	4.18	3.62	3.18	2.82	2.52	2.28
40	0.19	0.83	1.4	1.82	2.62	3.52	4.15	4.77	5.38	5.58	5.11	4.43	3.88	3.46	3.08	2.78
45	0.22	0.94	1.59	2.07	2.98	4.0	4.71	5.41	6.1	6.79	6.09	5.28	4.64	4.11	3.68	3.32
50	0.25	1.05	1.79	2.31	3.33	4.48	5.28	6.07	6.84	7.61	7.14	6.19	5.43	4.81	4.31	3.88
55	0.27	1.17	1.98	2.57	3.7	4.97	5.85	6.72	7.58	8.43	8.23	7.14	6.26	5.55	4.97	4.48
60	0.3	1.28	2.18	2.82	4.06	5.46	6.43	7.39	8.33	9.26	9.38	8.13	7.14	6.33	5.66	5.11

Note: Lubricated types I, II, and III on the table are shown on page 62.

: Whenever possible, selection should not be made from the colored sections of the table.

Tabel 2 3 Nilai Daya Transmisi Rantai, No. 35, Pitch 3/8 inch [10]

35 (BUSHED CHAIN)

Chain No.	Dimensions - mm											Average Ultimate Strength	Maximum Allowable Load	Average Chain Weight	
	Pitch	Bushing		Pin					Plate		Trans. Pitch				
		Width	Dia.	Dia.	Length				Height	Thick.					
					P	W	R	D							Lr
33												—	11.8	2.48	0.32
33-2	9.525	4.8	5.08	3.58	12.0	12.9	6.0	6.9		8.8	1.25	10.1	23.6	3.82	0.64
33-3					32.2	33.1	16.1	17.0					35.4	5.62	0.92

KILLOWATT RATINGS OF 35

(kw)

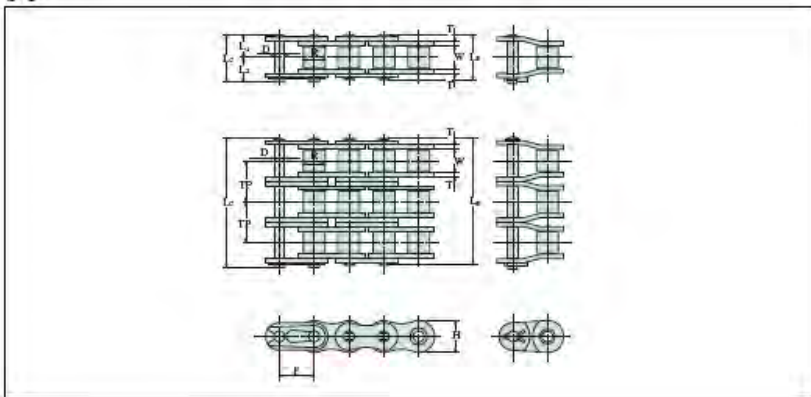
No. of Teeth Small Sprocket	Revolutions per Minute RPM - Small Sprocket																			
	100	500	900	1200	1800	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	10000
	Lubrication Method																			
11	0.16	0.69	1.18	1.52	2.2	2.88	2.19	1.74	1.42	1.19	1.02	0.88	0.77	0.69	0.61	0.55	0.5	0.46	0.42	0.36
12	0.18	0.76	1.29	1.68	2.41	3.24	2.5	1.98	1.62	1.36	1.16	1.01	0.88	0.78	0.7	0.63	0.57	0.52	0.48	0.41
13	0.2	0.83	1.41	1.83	2.63	3.54	2.82	2.23	1.83	1.53	1.31	1.13	1	0.88	0.79	0.71	0.65	0.59	0.54	0.46
14	0.21	0.9	1.53	1.98	2.85	3.83	3.15	2.5	2.04	1.71	1.46	1.27	1.11	0.99	0.88	0.8	0.72	0.66	0.61	0.52
15	0.23	0.97	1.65	2.13	3.07	4.13	3.49	2.77	2.27	1.9	1.62	1.41	1.23	1.09	0.98	0.88	0.8	0.73	0.67	0.57
16	0.24	1.04	1.76	2.29	3.29	4.42	3.84	3.05	2.5	2.09	1.79	1.55	1.36	1.21	1.08	0.97	0.88	0.81	0.74	0.63
17	0.26	1.11	1.88	2.44	3.51	4.72	4.21	3.34	2.73	2.29	1.96	1.7	1.49	1.32	1.18	1.07	0.97	0.88	0.81	0.69
18	0.28	1.18	2.0	2.6	3.74	5.02	4.59	3.64	2.98	2.5	2.13	1.85	1.62	1.44	1.29	1.16	1.05	0.96	0.88	0.75
19	0.29	1.25	2.12	2.75	3.96	5.33	4.98	3.95	3.23	2.71	2.31	2.0	1.76	1.56	1.4	1.26	1.14	1.04	0.96	0.82
20	0.31	1.32	2.24	2.91	4.19	5.63	5.37	4.26	3.49	2.92	2.5	2.16	1.9	1.68	1.51	1.36	1.23	1.13	1.03	0.88
21	0.33	1.39	2.37	3.07	4.42	5.93	5.78	4.59	3.75	3.15	2.69	2.33	2.04	1.81	1.62	1.46	1.33	1.21	1.11	0.95
22	0.34	1.47	2.49	3.22	4.64	6.24	6.2	4.92	4.03	3.37	2.88	2.5	2.19	1.94	1.74	1.57	1.42	1.3	1.19	1.02
23	0.36	1.54	2.61	3.38	4.87	6.55	6.52	5.26	4.3	3.61	3.08	2.67	2.34	2.08	1.86	1.68	1.52	1.39	1.28	1.09
24	0.38	1.61	2.73	3.54	5.1	6.86	7.06	5.61	4.59	3.84	3.28	2.85	2.5	2.21	1.98	1.79	1.62	1.48	1.36	1.16
25	0.4	1.68	2.86	3.7	5.33	7.16	7.51	5.95	4.88	4.09	3.49	3.03	2.65	2.35	2.11	1.9	1.72	1.57	1.45	1.23
26	0.41	1.76	2.98	3.86	5.56	7.47	7.96	6.32	5.17	4.34	3.7	3.21	2.82	2.5	2.23	2.01	1.83	1.67	1.53	1.31
28	0.45	1.9	3.23	4.18	6.02	8.1	8.9	7.06	5.78	4.84	4.14	3.59	3.15	2.79	2.5	2.25	2.04	1.87	1.71	1.46
30	0.48	2.05	3.48	4.51	6.49	8.72	9.87	7.83	6.41	5.37	4.59	3.98	3.49	3.1	2.77	2.5	2.27	2.07	1.9	1.62
32	0.52	2.2	3.73	4.83	6.96	9.35	10.87	8.63	7.06	5.92	5.05	4.38	3.84	3.41	3.05	2.75	2.5	2.28	2.09	1.79
35	0.57	2.42	4.11	5.32	7.67	10.3	12.14	9.87	8.08	6.77	5.78	5.01	4.4	3.9	3.49	3.15	2.86	2.61	2.39	2.0
40	0.66	2.8	4.75	6.15	8.86	11.9	14.02	12.06	9.87	8.37	7.06	6.12	5.37	4.77	4.26	3.84	3.49	3.0	2.73	2.39
45	0.75	3.18	5.39	6.98	10.06	13.52	15.93	14.39	11.78	9.87	8.43	7.31	6.41	5.69	5.09	4.6	4.14	3.73	3.32	2.91
50	0.84	3.56	6.04	7.82	11.27	15.15	17.85	16.85	13.8	11.56	9.87	8.56	7.51	6.66	6.0	5.4	4.94	4.48	4.07	3.66
55	0.93	3.94	6.69	8.67	12.49	16.79	19.78	18.44	15.92	13.54	11.39	9.87	8.0	7.0	6.2	5.6	5.1	4.6	4.1	3.7
60	1.02	4.33	7.35	9.53	13.72	18.44	21.73	22.16	18.13	15.2	12.98	11.0	9.0	8.0	7.0	6.2	5.6	5.1	4.6	4.1

Note: Lubricated types I, II, and III on the table are shown on page 62.

: Whenever possible, selection should not be made from the colored sections of the table.

Tabel 2 4 Nilai Daya Transmisi Rantai, No. 50, Pitch 5/8 inch [10]

50



Chain No.	Dimensions - mm										Average Ultimate Strength	Maximum Allowable Load	Average Chain Weight		
	Pitch	Roller		Pin				Plate		Trans. Pitch					
		Width	Dia.	Dia.	Length			Height	Thick.						
					L _R	L _C	L ₁							L ₂	
	P	W	R	D					H	T	TP	kN	kN	kg/m	
50	15.875	9.53	10.16	5.08	20.4	22.0	10.2	11.8	15.0	2.0	18.1	—	31.9	7.22	1.02
50-2					38.4	40.0	19.2	20.8				63.7	10.5	2.02	
50-3					56.7	58.2	28.4	29.8				95.6	15.6	3.02	
50-4					75.0	75.7	37.5	38.2				127	20.3	4.02	

KILLOWATT RATINGS OF 50

(kw)

No. of Teeth Small Sprocket	Revolutions per Minute (RPM) - Small Sprocket																										
	Lubrication Method																										
	50	100	300	500	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3500	4000	4500	5000	5400	5800	6200							
I												II												III			
11	0.4	0.75	2.02	3.19	5.42	7.02	5.47	4.16	3.3	2.7	2.26	1.93	1.68	1.53	1.26	1.05	0.9	0.8	0.72	0.0							
12	0.44	0.82	2.22	3.51	5.96	7.71	6.23	4.74	3.76	3.08	2.58	2.2	1.91	1.75	1.43	1.2	1.02	0.91	0.82								
13	0.48	0.9	2.42	3.83	6.49	8.41	7.03	5.34	4.24	3.47	2.91	2.48	2.15	1.97	1.61	1.35	1.15	1.03	0.92								
14	0.52	0.97	2.62	4.14	7.03	9.11	7.85	5.97	4.74	3.88	3.25	2.78	2.41	2.2	1.8	1.51	1.29	1.15	0								
15	0.56	1.05	2.82	4.46	7.58	9.82	8.71	6.62	5.26	4.3	3.61	3.08	2.67	2.44	2.0	1.68	1.43	1.27									
16	0.6	1.12	3.02	4.79	8.12	10.53	9.59	7.3	5.79	4.74	3.97	3.39	2.94	2.69	2.2	1.85	1.58	1.4									
17	0.64	1.2	3.23	5.11	8.67	11.24	10.51	7.99	6.34	5.19	4.35	3.71	3.22	2.95	2.41	2.02	1.73	1.54									
18	0.68	1.28	3.43	5.44	9.23	11.95	11.45	8.71	6.91	5.66	4.74	4.05	3.51	3.21	2.63	2.2	1.88	1.68									
19	0.73	1.35	3.64	5.76	9.78	12.67	12.41	9.44	7.49	6.13	5.14	4.39	3.8	3.48	2.85	2.39	2.04	0.0									
20	0.77	1.43	3.85	6.09	10.34	13.39	13.41	10.2	8.09	6.62	5.55	4.74	4.11	3.76	3.08	2.58	2.2										
21	0.81	1.51	4.05	6.42	10.9	14.12	14.42	10.97	8.71	7.13	5.97	5.1	4.42	4.05	3.31	2.78	2.37										
22	0.85	1.59	4.26	6.75	11.46	14.85	15.47	11.77	9.34	7.64	6.4	5.47	4.74	4.34	3.55	2.98	2.54										
23	0.89	1.66	4.47	7.08	12.02	15.58	16.33	12.58	9.98	8.17	6.85	5.85	5.07	4.64	3.8	3.18	0.0										
24	0.93	1.74	4.68	7.42	12.59	16.31	17.62	13.41	10.64	8.71	7.2	6.23	5.4	4.94	4.05	3.39											
25	0.98	1.82	4.89	7.75	13.16	17.04	18.74	14.25	11.31	9.26	7.76	6.62	5.74	5.26	4.3	3.61											
26	1.02	1.9	5.11	8.09	13.73	17.78	19.87	15.12	12.0	9.82	8.23	7.03	6.09	5.58	4.56	3.82											
28	1.1	2.06	5.53	8.76	14.87	19.26	22.21	16.89	13.41	10.97	9.2	7.85	6.81	6.23	5.1	4.27											
30	1.19	2.22	5.96	9.44	16.02	20.75	24.63	18.74	14.87	12.17	10.2	8.71	7.55	6.91	5.66	0.0											
32	1.27	2.38	6.39	10.12	17.18	22.25	27.13	20.64	16.38	13.41	11.23	9.59	8.31	7.61	6.23												
35	1.4	2.62	7.04	11.15	18.92	24.51	29.97	23.61	18.74	15.33	12.85	10.97	9.51	8.71	7.13												
40	1.62	3.03	8.15	12.88	21.86	28.32	34.61	28.85	22.89	18.74	15.7	13.41	11.62	10.64	0.0												
45	1.84	3.44	9.23	14.63	24.63	32.16	39.31	34.42	27.31	22.36	18.74	16.0	13.87	0.0													
50	2.06	3.85	10.35	16.39	27.81	36.03	44.05	40.31	31.99	26.18	21.94	18.74	0.0														
55	2.29	4.27	11.47	18.16	30.83	39.04	48.82	46.51	36.91	30.21	25.32	0.0															
60	2.51	4.69	12.6	19.95	33.87	43.87	53.63	52.99	42.05	34.43	0.0																
III																											

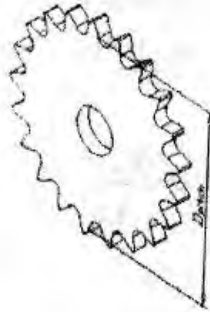
Note: Lubricated types I, II, and III on the table are shown on page 62.

: Whenever possible, selection should not be made from the colored sections of the table.

2.9.3 Dimensi Sistem Transmisi Rantai dan Sprocket [9]

Dalam penentuan dimensi sistem transmisi rantai dan sprocket, berikut langkah-langkahnya :

1. Menentukan Ukuran Sprocket



Gambar 2. 8 Diameter Pitch Sprocket [9]

Yang dimaksud dengan ukuran dimensi sprocket yaitu diameter pitchnya. Diameter pitch itu sendiri dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini,

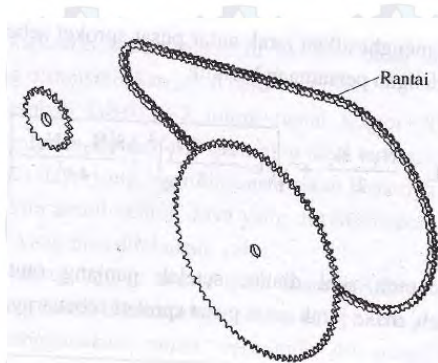
$$D \text{ [inch]} = \frac{\text{pitch}}{\sin \left(\frac{180^\circ}{\text{jumlah gigi}} \right)} \dots \dots \dots (2.13)$$

2. Menentukan Panjang Rantai dan Sprocket

Panjang rantai adalah jarak keliling rantai yang dihitung dengan persamaan :

$$L = 2C + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 \cdot C} \dots \dots \dots (2.14)$$

Apabila panjang rantai dinyatakan dalam satuan pitch maka nilainya harus dalam bentuk bulat, tidak boleh dalam bentuk pecahan.

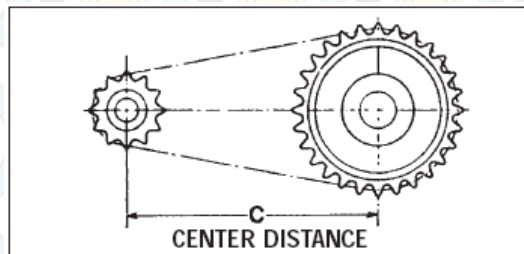


Gambar 2. 9 Panjang rantai = Keliling rantai [9]

3. Menentukan Jarak antar Pusat Sprocket

Karena panjang sabuk berubah (salah satunya karena factor pembulatan dari perhitungan) maka jarak pusat sprocket juga ikut berubah. Panjang sprocket standart menghasilkan jarak antar pusat sprocket yang sebenarnya, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$G = \frac{1}{4} \left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left(L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] \dots\dots(2.15)$$



Gambar 2. 10 Jarak Antar Pusat Sprocket Actual

2. 10. Pulau Bawean

Pulau Bawean terletak sekitar 80 mil atau 120 kilometer sebelah utara kota Gresik. Pulau ini memiliki jumlah penduduk 85.411 Pulau Bawean terdiri dari dua kecamatan dan memiliki potensi sumber daya alam pasir putih yang hangatnya tidak kalah dengan pantai Kuta dan terumbu karang yang tidak kalah indah dengan Bunaken. Sayangnya keindahan pulau Bawean tidak didukung oleh infrastruktur yang baik. Untuk mencapai pulau ini dapat ditempuh dengan naik kapal cepat selama kurang lebih 3,5 jam.

Secara administratif Pulau Bawean merupakan satu-satunya pulau yang dimiliki Pemerintahan Kabupaten Gresik. Sebelum tahun 1974 Pulau Bawean termasuk wilayah Kota Surabaya. Setelah dibentuk Kabupaten Gresik pada tahun 1974 Pulau Bawean menjadi bagian dari Kabupaten Gresik karena letak geografinya lebih dekat. Pulau yang memiliki luas 197,42 Km² ini secara geografis terletak pada 5,767926⁰ Bujur Timur dan 12,666305⁰ Lintang Selatan. Pulau ini memiliki 2 kecamatan yaitu Kecamatan Sangkapura dan Kecamatan Tambak, 30 kelurahan/desa serta memiliki 202 dusun yang tersebar di kedua kecamatan tersebut (BPS, 2012). Jika ditarik garis tegak lurus, Pulau Bawean terletak ±120 Km dari Utara Pulau Jawa dan ±257,27 Km dari Selatan Pulau Kalimantan. Pulau ini juga mempunyai jarak ±186 Km dari Barat Pulau Masalembu dan ±230 Km dari Timur Pulau Karimun Jawa. Jika dihitung jaraknya dari kota-kota besar seperti Surabaya, Bali, dan Banjarmasin, Pulau Bawean mempunyai jarak ±150 Km dari Surabaya, ±361 Km dari Bali, dan ±314 dari kota Banjarmasin [3].

Untuk menuju ke Pulau Bawean ada 2 jenis kapal yang dapat digunakan. Kedua kapal tersebut yaitu Kapal Tunggal Samudera dan Kapal Express Bahari. Jika menyeberang dengan

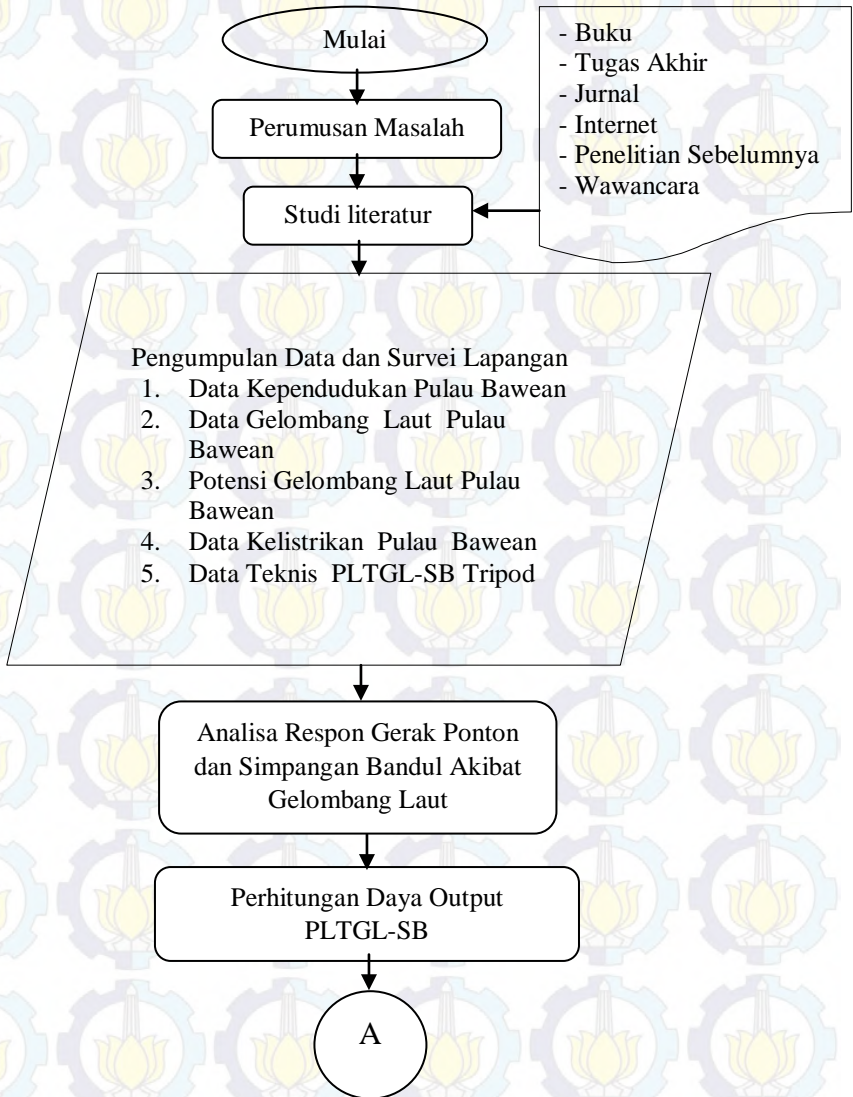


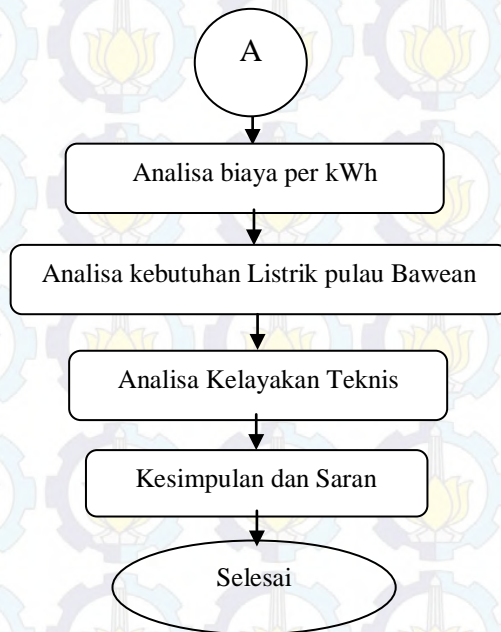
The European Marine Energy Centre (EMEC) adalah sebuah badan pengujian terkemuka dari Skotlandia yang bergerak dalam bidang energi terbarukan berbasis kelautan. Badan ini memungkinkan para *developer* untuk menguji *prototipe* di tempat pengujian gelombang EMEC [2]. Untuk pengerjaan tugas akhir kali ini standart yang digunakan adalah menggunakan standart EMEC.

The European Marine Energy Centre (EMEC) adalah sebuah badan pengujian terkemuka dari Skotlandia yang bergerak dalam bidang energi terbarukan berbasis kelautan. Badan ini memungkinkan para *developer* untuk menguji *prototipe* di tempat pengujian gelombang EMEC [2]. Untuk pengerjaan tugas akhir kali ini standart yang digunakan adalah menggunakan standart EMEC.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini dimulai dengan melakukan perumusan masalah dan studi literatur dilakukan untuk mencari informasi yang dibutuhkan untuk pengerjaan tugas akhir ini. Kemudian dilakukan proses pengumpulan data dan survei lokasi untuk dilakukan pengolahan data. Setelah data didapatkan maka kemudian dilakukan pengolahan data yaitu menganalisa pengaruh gerakan ponton dan simpangan sudut bandul terhadap gelombang laut yang terjadi. Kemudian dilakukan perhitungan daya yang keluar dari PLTGL-SB. Selanjutnya menghitung kebutuhan listrik pada daerah yang dipilih. Penentuan kebutuhan listrik dihitung berdasarkan data perencanaan pemasangan listrik di Kecamatan Tambak yang didapatkan dari PLN Rayon Bawean (dari penelitian sebelumnya). Kemudian dilakukan analisa data dari segi lokasi dan ketersediaan daya hasil keluaran PLTGL-SB serta nilai ekonomis dari pembangunan PLTGL-SB sebagai uji kelayakan PLTGL-SB dipasang di daerah sasaran. Berikut adalah *flowchart* dari metodologi yang akan dilakukan pada penelitian kali ini.





Gambar 3. 1. *Flowchart* Pengerjaan Tugas Akhir.

3.1. Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi dan perumusan masalah tentang tugas akhir ini, yaitu Studi Kelayakan Teknis Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul (PLTGL-SB) di Pulau Bawean Gresik.

3.2. Studi Literatur

Tinjauan pustaka atau studi literatur merupakan tahap pembelajaran mengenai teori-teori dasar yang akan dibahas pada penulisan tugas akhir ini. Teori - teori tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisa data. Dari studi literatur, diharapkan akan membantu memudahkan proses analisa data dan

agar tidak terjadi kesalahan dalam proses analisa tersebut. Studi literatur didapatkan dari pencarian pada sumber referensi yang dapat berupa buku, paper, jurnal, internet, dan lain-lain yang berisi materi-materi yang berhubungan dan mendukung bahasan tugas akhir ini. Selain studi literatur penulis melakukan survey lapangan secara langsung di Pulau Bawean untuk mengetahui kondisi *real* di lapangan dan mengumpulkan data-data penunjang.

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data digunakan sebagai bahan penunjang dalam melakukan penelitian ini. Data-data tersebut didapatkan melalui beberapa sumber yang berkaitan langsung. Untuk data kependudukan Pulau Bawean didapatkan dari BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Gresik. Data kelistrikan didapatkan melalui dua sumber yaitu PLN Kabupaten Gresik dan PLN Rayon Bawean pada penelitian sebelumnya. Data kelistrikan yang didapatkan berupa data jaringan transmisi listrik dan perencanaan pengaliran listrik akan dilakukan di Kecamatan Tambak, Bawean. Data tinggi, periode, dan potensi gelombang laut di pesisir utara Pulau Bawean didapatkan dari penelitian sebelumnya. Tempat pemasangan PLTGL-SB yang berpotensi di Pulau Bawean ditunjukkan pada gambar 3.2 yang telah diteliti pada penelitian sebelumnya. Gambar 3.2 di bawah ini menunjukkan letak tersebut.



Gambar 3. 2. Lokasi yang akan ditinjau dalam Tugas Akhir.

Gambar di atas menunjukkan titik target lokasi yang akan ditinjau dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul (PLTGL-SB), yaitu daerah pesisir Utara (pin A) pulau Bawean. Titik A terletak di Desa Diponggo, Kecamatan Tambak.

3.4 Analisa respon Gerak Ponton dan Simpangan Sudut Bandul akibat Gelombang Laut

Dari data tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan akan dicari besar sudut kemiringan ponton terhadap respon tinggi dan periode gelombang. Langkah ini dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf Motion*. Derajat kemiringan ponton ini nantinya akan dikonversikan menjadi simpangan sudut bandul pada PLTGL-SB yang akan diterapkan di daerah Pulau Bawean Gresik.

3.5 Perhitungan Daya PLTGL-SB

Setelah kebutuhan listrik dari lokasi yang akan disuplai listrik diketahui maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan

daya yang keluar dari PLTGL-SB untuk kemudian di transmisikan dan disesuaikan dengan daya yang dibutuhkan di Kecamatan Tambak, Bawean.

3.6 Analisa biaya per kWh

Analisa ekonomi dilakukan untuk mengetahui berapa nilai harga jual pembangkit listrik tenaga gelombang laut per kWh.

3.7 Analisa kebutuhan Listrik Pulau Bawean

PLN Bawean mengeluarkan data usulan perencanaan pengaliran listrik pada beberapa daerah. Data ini nantinya yang akan menjadi patokan sebagai uji kelayakan teknis dari PLTGL-SB.

3.8 Analisa Kelayakan Teknis

Analisa teknis yang dilakuakn dilihat dari faktor lokasi dan ketersediaan daya listrik hasil keluaran PLTGL-SB yang nantinya akan dijadikan parameter kelayakan penerapan PLTGL-SB di pesisir Pulau Bawean.

3.9 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahapan selesai dilakukan tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan seusai dengan analisa yang dilakukan dan juga memberikan saran ataupun masukan yang relevan sebagai pertimbangan penelitian di waktu mendatang. Sedangkan saran merupakan pendapat peneliti yang dapat dijadikan bahan pertimbangan pada peneliti selanjutnya yang akan melakukan penelitian serupa.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kependudukan Pulau Bawean

Secara administratif Pulau Bawean merupakan satu-satunya pulau yang dimiliki Pemerintahan Kabupaten Gresik. Sebelum tahun 1974 Pulau Bawean termasuk wilayah Kota Surabaya. Setelah dibentuk Kabupaten Gresik pada tahun 1974 Pulau Bawean menjadi bagian dari Kabupaten Gresik karena letak geografisnya lebih dekat. Pulau yang memiliki luas 197,42 Km² ini secara geografis terletak pada 5,767926⁰ Bujur Timur dan 12,666305⁰ Lintang Selatan. Pulau ini memiliki 2 kecamatan yaitu Kecamatan Sangkapura dan Kecamatan Tambak, 30 kelurahan/desa serta memiliki 202 dusun yang tersebar di kedua kecamatan tersebut (BPS, 2012). Jika ditarik garis tegak lurus, Pulau Bawean terletak ±120 Km dari Utara Pulau Jawa dan ±257,27 Km dari Selatan Pulau Kalimantan. Pulau ini juga mempunyai jarak ±186 Km dari Barat Pulau Masalembu dan ±230 Km dari Timur Pulau Karimun Jawa. Jika dihitung jaraknya dari kota-kota besar seperti Surabaya, Bali, dan Banjarmasin, Pulau Bawean mempunyai jarak ±150 Km dari Surabaya, ±361 Km dari Bali, dan ±314 dari kota Banjarmasin [3].



Gambar 4. 1. Peta Pulau Bawean

Untuk menuju ke Pulau Bawean ada 2 jenis kapal yang dapat digunakan. Kedua kapal tersebut yaitu Kapal Tungkal Samudera dan Kapal Express Bahari. Jika menyeberang dengan menggunakan Kapal Tungkal Samudera akan membutuhkan waktu 7-8 jam perjalanan menuju Pulau Bawean. Sedangkan untuk menyeberang ke Pulau Bawean menggunakan Kapal Express Bahari hanya membutuhkan waktu 3-3,5 jam perjalanan. Kapal Express Bahari merupakan kapal cepat buatan Australia yang pada awalnya digunakan sebagai alternatif transportasi laut oleh Pemerintahan Kabupaten Gresik. Namun sekarang, kapal cepat Express Bahari menjadi transportasi laut utama untuk menuju ke Pulau Bawean karena lebih efisien dibandingkan dengan Kapal Tungkal Samudera.

4.2 Data Kelistrikan Pulau Bawean

Kebutuhan listrik di Pulau Bawean sampai saat ini masih mengalami krisis dimana di Pulau Bawean sumber pasokan listrik masih menggunakan PLTD yang bahan bakarnya menggunakan solar. Dimana perharinya PLTD ini membutuhkan 418.028 liter solar. Dengan banyaknya kebutuhan solar dan harganya yang mahal, penggunaan solar ini dianggap kurang efisien. Disisi lain sering kali pengiriman bahan baku solar mengalami hambatan dikarenakan ombak yang tinggi.

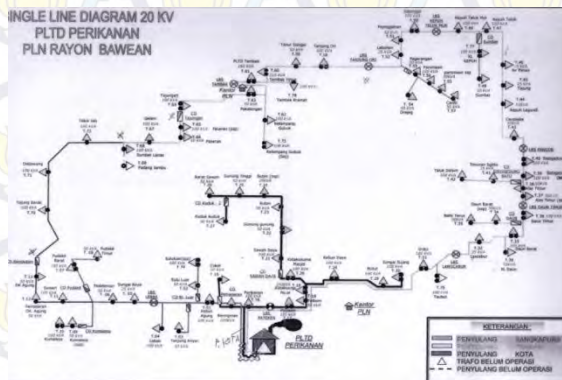
Menurut penelitian sebelumnya, masih banyak desa-desa di Pulau Bawean yang belum teraliri listrik seperti di Desa Pekalongan, Paromaan, dan masih banyak desa yang belum teraliri listrik terutama di daerah pegunungan dimana tidak ada aliran kabel listrik PLN. Hal ini dikarenakan desa-desa tersebut merupakan daerah pelosok gunung yang sulit dijangkau oleh PLN rayon Bawean. Sehingga daerah tersebut belum teraliri listrik. Apalagi di salah satu desa yang telah disebutkan terdapat tempat

wisata yang dikenal banyak para wisata wan yang berkunjung di Bawean, yaitu Danau Kastoba Desa Paromaan, Kecamatan Tambak. Jumlah pelanggan listrik di rayon Bawean sebesar 16.509 pelanggan yang terdiri dari beberapa sektor, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. 1 berikut ini.

Tabel 4. 2 Data Pelanggan Rayon Bawean (PLN Gresik, 2012)

Sektor	Jumlah	Prosentase
Rumah Tangga	12427	75,27 %
Industri	3589	21,74%
Sosial	455	2,76%
Pemerintah	38	0,23%

Sektor rumah tangga memiliki jumlah pelanggan terbesar pertama sebesar 75,27 % dibandingkan yang lainnya. Dan menurut data penelitian sebelumnya yang melakukan kunjungan , masing-masing pelanggan baru dari berbagai sektor dikenakan daya listrik sebesar 900 watt [4].

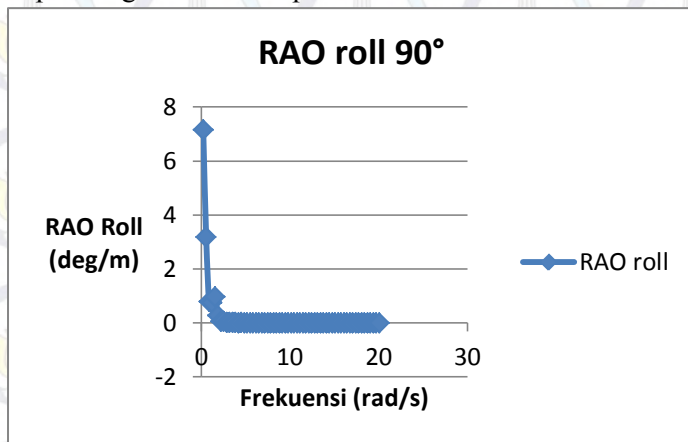


Gambar 4. 2 Peta single line 20 Kv PLTD Sangkapura (PLN Bawean, 2012)

Pusat PLTD PT.PLN UPJ Bawean terletak didalam kompleks Perikanan Bawean. Saluran transmisi pada pusat PLTD disalurkan ke 3 pe nyulang, yaitu penyulang Sangkapura, penyulang kota, dan penyulang Tambak. Tegangan trafo yang digunakan pada jaringan transmisi PLTD Bawean ini menggunakan tegangan 20 kV.

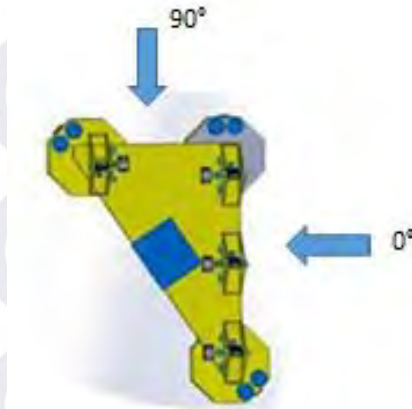
4.3 Analisa gerakan ponton akibat Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang Signifikan

Untuk menganalisa gerakan ponton akibat tinggi dan periode gelombang signifikan digunakan *software Maxsurf Motion*. Pada *software maxsurf* terdapat beberapa data yang dibutuhkan untuk menganalisa adalah model, titik berat, jari-jari girasi, *heading* (arah datang gelombang). Kemudian apabila data sudah dimasukkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses meshing dan running RAO untuk mendapatkan hasilnya. Maka didapatkan grafik RAO seperti dibawah ini :



Gambar 4. 3 Grafik hasil analisa RAO pada arah 90°

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai maksimum dari gerakan rolling arah 90° sebesar 7,157 degree/m. Yang kemudian akan dikonversikan ke perhitungan selanjutnya.



Gambar 4. 4. RAO rolling pada heading 90°

Sementara Untuk menentukan besar RAO, dilakukan perancangan heading (arah datang gelombang) untuk mengetahui arah yang paling dominan untuk menghasilkan sudut kemiringan ponton yang paling besar. RAO yang dipakai diatas ini adalah RAO *rolling* pada heading 90° . Hal ini karena menyesuaikan dengan arah gerakan bandul. Dimana bandul akan mendapatkan gaya maksimum dari arah 90° . Gerakan maksimum ponton yang terjadi pada arah 90° derajat adalah gerakan rolling.

4.4 Analisa Simpangan Sudut Bandul

Berdasarkan hasil penelitian dari (Junianto, 2014). Untuk menghitung besar simpangan yang terjadi pada bandul digunakan rumus yang merupakan persamaan hasil transformasi metode Laplace.

Getaran ponton dimodelkan dengan massa terkumpul di pusat massa ponton sebesar m_1 , yang mana di atasnya dipasang bandul dengan massa m_2 dan panjang elngan bandul L_2 . Ponton diberikan kondisi batas hanya bisa berputar pada sumbu y , tepatnya segaris dengan titik beratnya (G) dimana titik G dinaikkan segaris dengan garis airnya. Hal ini untuk mendapatkan kondisi oleng yang optimal. Syarat yang dilakukan adalah menipiskan bagian bawah ponton dan mempertebal bagian atas ponton dengan kadar massa yang sama.

Gerakan rotasi tersebut kemudian memberikan sudut oleng sebesar θ . Dimana diketahui letak titik M berada diantara titik B dan G , sehingga menyebabkan kondisi ponton oleng labil, sehingga menghasilkan gerakan yang optimal untuk pembangkit listrik. Gerakan oleng itu sendiri akan menyebabkan gerakan pada bandul dengan sudut pindah α . θ dan α positif berlawanan arah putaran jarum jam.

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, persamaan gerak sistem adalah model matematik yang diturunkan berdasarkan metode Lagrange hasil transformasi metode Laplace. Derajat kebebasan untuk sistem ini ada dua, yaitu θ (sudut oleng ponton) dan α (sudut simpang bandul akibat gerak ponton).

Berdasarkan hasil penelitian dari (Junianto, 2014) berikut perumusan ntuk menghitung besar simpangan yang terjadi pada bandul yang merupakan persamaan hasil transformasi metode Laplace.

$$\alpha(s) = \frac{(m_2GS^2 - m_2GSL_2)s^2 - 2m_2gGS)\theta(s)}{(m_2GS^2L_2 - m_2L_2)s^2 - m_2gL_2}$$

Dimana : θ = Sudut kemiringan ponton (radian)

α = Simpangan bandul (radian)

m_2 = Massa bandul (kg)

GS = Jarak dari COG menuju titik tertinggi bangunan (m)

L_2 = Panjang lengan bandul (m)

S = Faktor Laplace (1)

Berikut contoh salah satu hasil perhitungan dari simpangan sudut bandul yang terjadi pada tinggi gelombang 3,49 m.

$$\alpha (s) = \frac{(350.(4,1)^2 - 350.4,1.2,2)1^2 - 2.350.9,8.4,1))0,217}{(350.4,1.2,2 - 350.2,2)1^2 - 350.9,8.2,2}$$

$$\alpha (s) = 0,251610335 \text{ radian}$$

$$\alpha (s) = 46,573 \text{ Degree}$$

Pada tabel 4.2 dibawah ini hasil dari simpangan sudut bandul yang terjadi akibat kemiringan ponton.

Tabel 4. 3 Simpangan sudut bandul yang terjadi akibat kemiringan ponton

No	Tinggi Gelombang Signifikan (m)	Sudut Kemiringan Ponton (θ) (radian)	Simpangan Sudut Bandul (α) (Degree)
1.	1,17	0,073	15,613
2	0,94	0,058	12,544
3	0,57	0,035	7,606
4	0,47	0,029	6,272
5	0,82	0,051	10,942
6	1,06	0,066	14,145
7	1,18	0,073	15,746
8	1,22	0,076	16,280
9	0,95	0,059	12,677
10	0,7	0,043	9,341
11	0,4	0,024	5,337
12	3,49	0,217	46,573

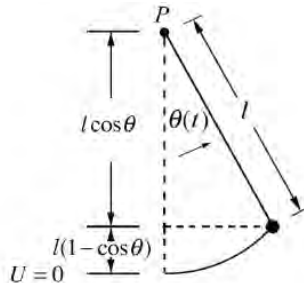
4.5 Perhitungan Daya PLTGL-SB

Untuk melakukan perhitungan daya pada PLTGL-SB diperlukan data lingkungan dari daerah sasaran yang akan diinstall pembangkit, yaitu di daerah utara pesisir Pulau Bawean. Berikut data lingkungan dari daerah sasaran.

Tabel 4. 4 Data lingkungan dari daerah sasaran Tahun 2007-2012.

Bulan	Hs (meter)	Tp (detik)	Potensi daya (kW/m)
Januari	1,17	5,37	3,07
Februari	0,94	5,18	1,90
Maret	0,57	5,07	0,70
April	0,47	5,19	0,49
Mei	0,82	5,33	1,49
Juni	1,06	5,40	2,55
Juli	1,18	5,49	3,22
Agustus	1,22	5,44	3,41
September	0,95	5,24	2,00
Oktober	0,70	5,02	1,04
November	0,40	4,96	0,33
Desember	3.49	5,20	26,63

Sebelum melakukan perhitungan pada bandul, dilakukan penggambaran *freebody diagram* bandul terlebih dahulu. Berikut gambar *freebody diagram* dari bandul :



Gambar 4. 5 freebody diagram bandul

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk mencari torsi, kecepatan sudut, energi kinetik, dan daya yang dihasilkan oleh simpangan bandul. Namun sebelum melakukan perhitungan diperlukan parameter dasar terlebih dahulu. Berikut parameter dasar yang diperlukan sebelum melakukan perhitungan.

- Variasi massa bandul : 150 kg, 250 kg, dan 350 kg
- Massa lengan bandul : 85 kg
- Panjang lengan : 2,2 m

Dan dari hasil dari perhitungan menggunakan rumus empiris didapatkan besar simpangan bandul sebesar : 5,338°, 6,272°, 7,607° ; 9,341° ; 10,943° ; 12,544° ; 12,678° ; 14,146° ; 15,613° ; 15,747° ; 16,281° ; 46,573°

4.5.1. Perhitungan Torsi pada Bandul :

Torsi adalah gaya yang menyebabkan benda bergerak melingkar. Berikut persamaan perhitungan torsi pada bandul :

$$\tau = \tau_{\text{lengan}} + \tau_{\text{bandul}}$$

$$\tau = (m_r \times \frac{1}{2} l \times g \times \sin\theta) + (m_d \times l \times g \times \sin\theta)$$

$$\tau = (\frac{1}{2}m_r + m_d) g \times l \times \sin\theta$$

Dimana :

- T : torsi (Nm)
 m_r : massa lengan (kg)
 m_d : massa bandul (kg)
 l : panjang lengan (m)
 g : gravitasi (kg/m^2)

Contoh salah satu perhitungan :

$$T = (85 \times \frac{1}{2} (2,2) \times 9,8 \times \sin 46,573^\circ + (350 \times 2,2 \times 9,8 \times \sin 46,573^\circ)$$

$$T = 665,42 + 5479,91$$

$$T = 6145,32 \text{ Nm}$$

Untuk perhitungan varisai massa dan variasi simpangan yang lainnya bisa dilihat pada lampiran.

4.5.2. Momen Inersia pada Bandul :

Momen inersia merupakan sifat yang dimiliki benda untuk mempertahankan posisinya dari gerak berotasi. Berikut persamaan perhitungan momen inersia :

$$I = I_{\text{lengan}} + I_{\text{bandul}}$$

$$I = (1/3 \cdot m_r \cdot l^2) + (m_d \cdot l^2)$$

Dimana :

- I : momen inersia (kg.m^2)
 m_r : massa lengan (kg)
 m_d : massa bandul (kg)
 l : panjang lengan (m)

Contoh salah satu perhitungan :

$$I = (1/3 \cdot 85 \cdot 2,2^2) + (350 \cdot 2,2^2)$$

$$I = (137,133332) + (1694)$$

$$I = 1831,1333 \text{ kg.m}^2$$

Untuk perhitungan varisai massa dan variasi simpangan yang lainnya bisa dilihat pada lampiran.

4.5.3. Perhitungan Kecepatan Sudut Natural pada bandul :

Besar kecepatan sudut natural pada bandul dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{(\frac{1}{2}mr + md)g \cdot l}{(\frac{1}{3}mr + md \cdot)l^2}}$$

Dimana :

ω_n : kecepatan sudut natural (rad/sec)

m_r : massa lengan (kg)

m_d : massa bandul (kg)

l : panjang lengan (m)

Contoh salah satu perhitungan :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{(\frac{1}{2}(85) + 350)9,8 \cdot 2,2}{(\frac{1}{3}(85) + 350)2,2^2}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{8462,3}{1831,133}}$$

$$\omega_n = 2,151 \text{ rad/sec}$$

Untuk perhitungan varisai massa dan variasi simpangan yang lainnya bisa dilihat pada lampiran.

4.5.4. Perhitungan Kecepatan Sudut pada bandul :

Besar kecepatan sudut pada bandul dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\omega = \frac{\sqrt{2 \times g \times h}}{2,2}$$

Dimana :

- ω : kecepatan sudut (rad/sec)
- g : percepatan gravitasi (m/s^2)
- h : simpangan bandul (m)
- l : panjang lengan (m)

Contoh salah satu perhitungan :

$$\omega = \frac{\sqrt{2 \times 9,8 \times 0,69}}{2,2}$$

$$\omega = \frac{\sqrt{13,524}}{2,2}$$

$$\omega = 1,670 \text{ rad/sec}$$

Untuk perhitungan varisai massa dan variasi simpangan yang lainnya bisa dilihat pada lampiran.

4.5.5. Perhitungan Energi Kinetik pada bandul :

Besarnya energi kinetik pada bandul dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_k = 0,5 \times I \times \omega^2$$

Dimana :

- E_k : Energi Kinetik (Joule)
- I : momen inersia (kg.m^2)
- ω : kecepatan sudut (rad/sec)

Contoh salah satu perhitungan :

$$E_k = 0,5 \times 1831,13 \times 1,670^2$$

$$E_k = 2553,099 \text{ Joule}$$

Untuk perhitungan variasi massa dan variasi simpangan yang lainnya bisa dilihat pada lampiran.

4.5.6. Daya yang dihasilkan bandul :

Daya yang ditransmisikan dari bandul :

$$P = \omega \times \tau$$

dimana :

ω : kecepatan anguler (rad/sec)

τ : torsi (Nm)

P : Daya (Watt)

Contoh salah satu perhitungan :

$$P = \omega \times \tau$$

$$P = 1,670 \times 6145,32$$

$$P = 10262,03 \text{ watt}$$

Untuk perhitungan variasi massa dan variasi simpangan yang lainnya bisa dilihat pada lampiran.

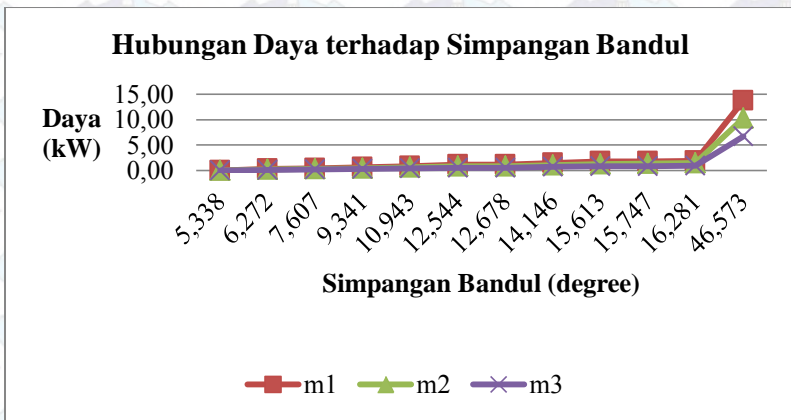
Tabel 4. 5 Torsi yang dihasilkan bandul dari variasi massa dan simpangan

Sudut (°)	Torsi (Nm)		
	$m_1(350\text{kg})$	$m_2(250\text{kg})$	$m_3(150\text{kg})$
5,338	78,70	58,65	38,60
6,272	922,39	687,39	452,38
7,607	1117,02	832,43	547,84
9,341	1370,89	1021,62	672,35

10,943	1599,37	1191,89	784,41
12,544	1836,32	1368,47	900,62
12,678	1853,24	1381,08	908,92
14,146	2064,80	1538,74	1012,67
15,613	2276,36	1696,39	1116,43
15,747	2293,28	1709,01	1124,73
16,281	2369,44	1765,76	1162,08
46,573	6145,32	4579,64	3013,95

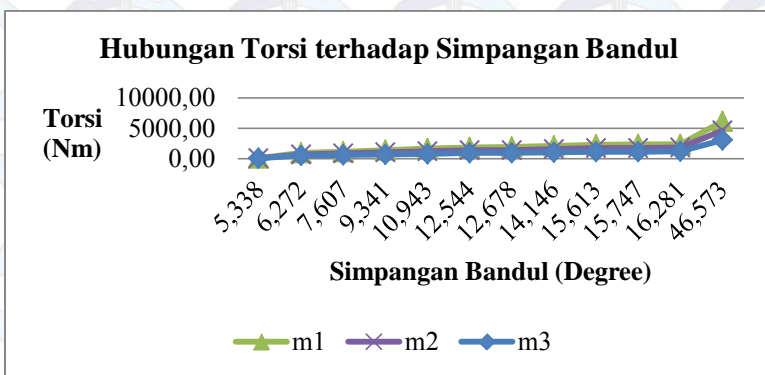
Tabel 4. 6 Daya yang dihasilkan bandul dari variasi massa dan simpangan

Sudut (°)	P (kW)		
	$m_1(350\text{kg})$	$m_2(250\text{kg})$	$m_3(150\text{kg})$
5,338	0,02	0,01	0,01
6,272	0,29	0,21	0,14
7,607	0,42	0,32	0,21
9,341	0,63	0,47	0,31
10,943	0,88	0,66	0,43
12,544	1,14	0,85	0,56
12,678	1,15	0,86	0,56
14,146	1,46	1,08	0,71
15,613	1,75	1,31	0,86
15,747	1,79	1,33	0,88
16,281	1,92	1,43	0,94
46,573	13,76	10,26	6,75



Gambar 4. 6 . Grafik Daya Terhadap Simpangan

Grafik daya terhadap simpangan diatas menunjukkan bahwa semakin besar simpangan bandul maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Begitu pula pengaruh variasi massanya. Daya yang dihasilkan bandul akan semakin besar ketika torsi dari bandul semakin besar dan kecepatan sudutnya semakin besar. Daya terbesar terjadi ketika simpangan atau ketinggian gelombang semakin tinggi.



Gambar 4. 7 Grafik Torsi Terhadap Simpangan

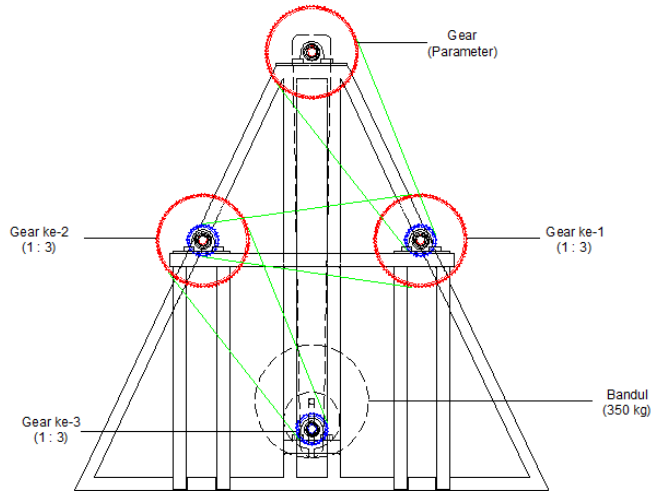
Grafik torsi terhadap simpangan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar simpangan bandul semakin besar pula torsi yang dihasilkan. Begitu pula pengaruh variasi massanya, semakin berat massa bandul maka torsinya juga semakin besar. Hal ini dikarenakan torsi dipengaruhi oleh massa bandul dan simpangannya.

4.5.7. Perhitungan pada Sistem Transmisi

Pada sistem transmisi dari bandul untuk menuju ke multistage generator menggunakan tiga buah gear dengan perbandingan ratio yang sama. Dari berbagai variasi massa untuk parameter dasar yang akan dijadikan acuan perhitungan selanjutnya dipilih pada massa bandul 350 kg .

Tabel 4. 7 Parameter dasar yang dihasilkan bandul

Sudut	T_{system}	ω rad/s	N (Rpm)	P (HP)	P (watt)
5,338	78,70	2,151	1,803	0,020	14,857
6,272	922,39	2,151	2,208	0,286	213,259
7,607	1117,02	2,151	2,704	0,424	316,301
9,341	1370,89	2,151	3,250	0,626	466,543
10,943	1599,37	2,151	3,929	0,882	658,027
12,544	1836,32	2,151	4,416	1,139	849,123
12,678	1853,24	2,151	4,416	1,149	856,949
14,146	2064,80	2,151	5,018	1,455	1085,115
15,613	2276,36	2,151	5,483	1,753	1306,948
15,747	2293,28	2,151	5,556	1,789	1334,339
16,281	2369,44	2,151	5,771	1,920	1432,040
46,573	6145,32	2,151	15,946	13,761	10262,036



Gambar 4. 8 Desain Sistem Transmisi PLTGL-SB Model Tripod

4.5.7.1. Sprocket ke-1 :

Pada sprocket pertama menggunakan ratio 1:3 pada kecepatan sudut yang dihasilkan oleh sprocket. Sehingga jika kecepatan sudutnya naik maka torsi dari bandul akan turun menjadi tiga kali lipatnya. Dengan asumsi losses yang terjadi sebesar 98% pada sistem transmisi ini, sehingga daya yang distransmisikan dari bandul nilainya berkurang sebesar 98%. Berikut perhitungannya :

$$P_{\text{bandul}} = P_{\text{sprocket1}}$$

$$\omega_{\text{bandul}} \times T_{\text{bandul}} = \omega_{\text{sprocket1}} \times T_{\text{sprocket1}}$$

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan torsi pada transmisi sprocket ke-1

Sudut	ω_1 (1:3) rad/s	T_1 Nm	N_1 Rpm	P (HP)	P (watt)
5,338	6,452	26	5,408	0,020	15
6,272	6,452	307,464	6,623	0,280	208,994
7,607	6,452	372,341	8,112	0,416	309,975
9,341	6,452	456,964	9,749	0,613	457,212
10,943	6,452	533,125	11,787	0,865	644,866
12,544	6,452	612,106	13,247	1,116	832,140
12,678	6,452	617,748	13,247	1,126	839,810
14,146	6,452	688,267	15,055	1,426	1063,413
15,613	6,452	758,786	16,448	1,718	1280,809
15,747	6,452	764,428	16,669	1,754	1307,652
16,281	6,452	789,815	17,314	1,882	1403,399
46,573	6,452	2048,441	47,839	13,486	10056,795

4.5.7.2. Sprocket ke -2 :

Pada sprocket kedua sama dengan sprocket pertama, yaitu menggunakan ratio 1:3 pada kecepatan sudut yang dihasilkan oleh sprocket. Sehingga jika kecepatan sudutnya naik maka torsi dari bandul akan turun menjadi tiga kali lipatnya. Dengan asumsi losses yang terjadi sebesar 98% pada sistem transmisi ini, sehingga daya yang distransmisikan dari bandul nilainya berkurang sebesar 98%.. Berikut perhitungannya :

$$P_{\text{sprocket1}} = P_{\text{sprocket2}}$$

$$\omega_{\text{sprocket1}} \times T_{\text{sprocket1}} = \omega_{\text{sprocket2}} \times T_{\text{sprocket2}}$$

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Torsi pada transmisi sprocket ke -2 :

Sudut	ω_2 (1:3) rad/s	T_2 Nm	N_2 Rpm	P (HP)	P (watt)
5,338	19,355	9	16,224	0,019	14
6,272	19,355	102,488	19,870	0,275	204,814
7,607	19,355	124,114	24,336	0,407	303,775
9,341	19,355	152,321	29,248	0,601	448,068
10,943	19,355	177,708	35,360	0,847	631,969
12,544	19,355	204,035	39,741	1,094	815,497
12,678	19,355	205,916	39,741	1,104	823,014
14,146	19,355	229,422	45,166	1,398	1042,144
15,613	19,355	252,929	49,344	1,683	1255,193
15,747	19,355	254,809	50,006	1,718	1281,499
16,281	19,355	263,272	51,942	1,844	1375,331
46,573	19,355	682,814	143,517	13,216	9855,659

4.5.7.3. . Sprocket ke -3 :

Pada sprocket ketiga sama dengan sprocket pertama dan kedua, yaitu menggunakan ratio 1:3 pada kecepatan sudut yang dihasilkan oleh gear. Sehingga jika kecepatan sudutnya naik maka torsi dari bandul akan turun menjadi tiga kali lipatnya. Dengan asumsi losses yang terjadi sebesar 98% pada sistem transmisi ini, sehingga daya yang ditransmisikan dari bandul nilainya berkurang sebesar 98%. Berikut perhitungannya :

$$P_{\text{sprocket2}} = P_{\text{sprocket3}}$$

$$\omega_{\text{sprocket2}} \times T_{\text{sprocket2}} = \omega_{\text{sprocket3}} \times T_{\text{sprocket3}}$$

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Torsi pada Sprocket ke -3 :

Sudut	ω_3 (1:3) rad/s	T_3 Nm	N_3 Rpm	P (HP)	P (watt)
5,338	58,064	3	24,336	0,019	14
6,272	58,064	34,163	59,611	0,269	200,718
7,607	58,064	41,371	73,008	0,399	297,700
9,341	58,064	50,774	87,745	0,589	439,107
10,943	58,064	59,236	106,079	0,831	619,330
12,544	58,064	68,012	119,222	1,072	799,188
12,678	58,064	68,639	119,222	1,082	806,553
14,146	58,064	76,474	135,498	1,370	1021,302
15,613	58,064	84,310	148,031	1,650	1230,089
15,747	58,064	84,936	150,018	1,684	1255,869
16,281	58,064	87,757	155,827	1,807	1347,824
46,573	58,064	227,605	430,551	12,952	9658,546

4.5.8. Perhitungan Pada *Multistage Generator*

Parameter inputan dari sistem transmisi yang akan masuk ke permanent magnetik generator diperlukan sebagai acuan awal sebelum melakukan perhitungan selanjutnya. Selain itu juga dibutuhkan data spesifikasi dari PMG yang telah dipilih.

Tabel 4. 11 Parameter inputan dari sistem transmisi

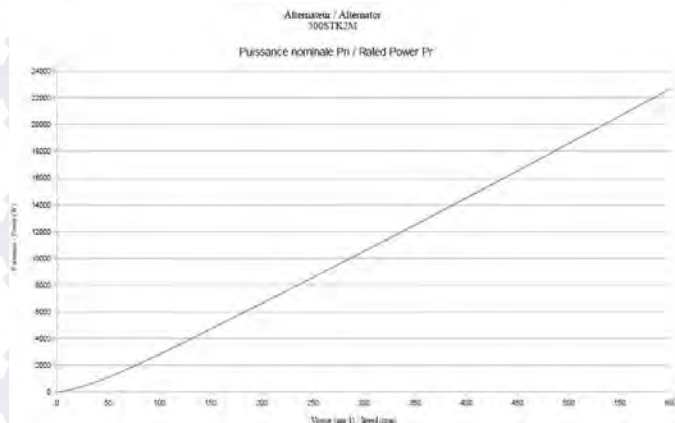
Sudut	ω (rad/s)	T (Nm)	N (Rpm)	SHP (HP)	SHP (watt)
5,338	58,064	3	24,336	0,019	14
6,272	58,064	34,163	59,611	0,269	200,718
7,607	58,064	41,371	73,008	0,399	297,700
9,341	58,064	50,774	87,745	0,589	439,107
10,943	58,064	59,236	106,079	0,831	619,330
12,544	58,064	68,012	119,222	1,072	799,188
12,678	58,064	68,639	119,222	1,082	806,553
14,146	58,064	76,474	135,498	1,370	1021,302
15,613	58,064	84,310	148,031	1,650	1230,089
15,747	58,064	84,936	150,018	1,684	1255,869
16,281	58,064	87,757	155,827	1,807	1347,824
46,573	58,064	227,605	430,551	12,952	9658,546

Sehingga didapatkan spesifikasi dari generator yang dipilih adalah sebagai berikut :

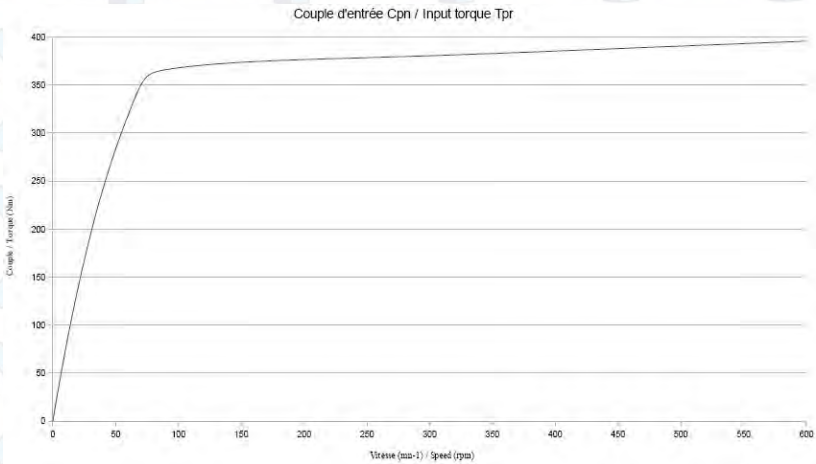
See also the curves of Voltage, Torque, Efficiency vs Speed

			500STK2M	
Rated Power at Rated speed	Rated speed	Rpm	150	600
	Rated power (1)(2)	W	4700	22701
	Input torque at rated speed(1)(2)	N.m	376	396
	Efficiency at rated power (1)(2)	%	80	91
	Current at rated power (1)	Amps	11.7	50.7
Rated Power at Half speed	Voltage at rated power (1)(2)(3)	V	237	267
	Rated Power at half speed (1)(2)	W	1835	0465
	Input torque at half speed (1)(2)	N.m	365	380
	Efficiency at half speed (1)(2)	%	63	88
	Number of poles (number of pairs of poles)			
	Cogging torque	N.m	3	
	Phase resistance at 20°C	Ohm	2	0.13
	Phase inductance (5)	mH	14.7	0.93
	Voltage at no load (back emf) at 20°C (4)	V	319	319
	Rotor inertia	10 ⁻³ Kg.m ²	438	
	Weight	Kg	4	
	Power cable square section (6)	mm ²	4x1.5	4x10
Power cable diameter	mm	Ø8	Ø16.7	

Gambar 4. 9 Spesifikasi PMG Alxion 500 STK2M



Gambar 4. 10 Grafik antara Daya Vs Putaran dari Generator Alxion 500
STK2M



Gambar 4. 11 Grafik antara Torsi Vs Putaran dari Generator Alxion 500
STK2M

4.6 Perhitungan *Sprocket*

Perhitungan *sprocket* ini sesuai dengan buku Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin oleh Sularso dan Kiyokatsu Suga maka berikut langkah-langkahnya :

1. Menentukan parameter dasar

$$P = 10,262 \text{ kw}$$

$$N1 = 15,95 \text{ rpm (sprocket besar)}$$

$$N2 = 47,84 \text{ rpm (sprocket kecil)}$$

(dapat dilihat di lampiran tabel perhitungan bandul)

$$i = 3$$

$$C = 1100 \text{ mm}$$

$$Fc = 1,5 \text{ ((Variasi beban sedang, momen puntir puncak 200% dan jumlah jam kerja 24)}$$

- jam/hari)
2. Menentukan daya rencana

$$P_d = P \cdot F_c$$

$$P_d = 10,262 \times 1,5$$

$$P_d = 15,393 \text{ kw}$$
 3. Menentukan torsi l

$$T_1 = 614532,2 \text{ kg.mm (Sprocket besar)}$$

$$T_2 = 204844,1 \text{ kg.mm (Sprocket kecil)}$$
 4. Menentukan bahan poros
 Bahan poros SN C
 Kekuatan tarik SN C (σ_B) = 85 kg/mm^2
 Diameter poros asumsi semua sama = 54 mm
 5. Pemilihan nomor rantai sprocket

$$T = F \cdot R$$

$$F = T/R$$

$$T = 614532,23 \text{ kg.mm}$$

$$R = 2200 \text{ mm}$$

$$F = 279 \text{ kg (fc = 1.5)}$$

$$F_d = 419 \text{ kg}$$

Maka nomor rantai dipilih no. 50 yang memiliki spesifikasi :

 - Pitch (jarak bagi)

$$P = 15,875 \text{ mm}$$
 - Batas kekuatan tarik rata-rata

$$F_b = 3200 \text{ kg}$$
 - Beban maksimum yang diijinkan

$$F_u = 520 \text{ kg}$$
 6. Jumlah gigi (Z)

$$Z_2 = 27 \text{ gigi (sprocket kecil minimal 17 gigi)}$$

$$Z_1 = 81 \text{ gigi}$$
 7. Diameter jarak bagi
 - Sprocket kecil

$$dp = p/\sin(180/Z2)$$

$$dp = 136,85 \text{ mm}$$

- Sprocket besar

$$Dp = p/\sin(180/Z1)$$

$$Dp = 407,05 \text{ mm}$$

8. Diameter luar sprocket

- Sprocket kecil

$$dk = \{0,6 + \cot(180/Z2)\} p$$

$$dk = 145,21 \text{ mm}$$

- Sprocket besar

$$Dk = \{0,6 + \cot(180/Z1)\} p$$

$$Dk = 416,58 \text{ mm}$$

9. Diameter naff maksimum sprocket

- Sprocket kecil

$$db \text{ max} = p\{\cot(180/Z2) - 1\} - 0,76$$

$$db \text{ max} = 119,05 \text{ mm}$$

- Sprocket besar

$$Db \text{ max} = p\{\cot(180/Z1) - 1\} - 0,76$$

$$Db \text{ max} = 390,42 \text{ mm}$$

10. Kecepatan

$$V = P \cdot Z2 \cdot N2 / 1000 \cdot 60$$

$$V = 0,34 \text{ m/s (4-10 m/s)}$$

11. Beban yang bekerja

$$Fd = Fc \cdot (T/R)$$

$$Fd = 488,12 \text{ kg}$$

12. Faktor safety

$$Sf = Fb / Fd$$

$$Sf = 6,56$$

13. Panjang rantai

$$Lp = (Z2+Z1)/2 + 2Cp + [(Z1-Z2)/6,28]^2/Cp$$

$$Cp \text{ sementara} = C/P$$

$$= 62,29$$

Maka

$L_p = 181.16$ pitch, diambil 181

$L = P \cdot L_p$

$L = 2873$ mm

14. Menghitung jarak tengah sesungguhnya

$C_p = 1/4 \{ (L - (z_1 + z_2/2)) + \sqrt{(L - (z_1 + z_2/2))^2 - 2/9.86 (z_2 - z_1)^2} \}$

$C_p = 62,29$

$C = P \cdot C_p$

$C = 1100$ mm

4.7 Perhitungan Flywheel

Dalam perencanaan desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul PLTGL-SB ini dipasang sebuah flywheel pada poros input generator dengan tujuan supaya daya yang menuju ke generator yang masuk tidak terjadi fluktuatif. Perhitungan flywheel ini didasarkan pada buku karangan khurmi. Berikut perhitungan flywheel yang akan ditambahkan pada instalasi PLTGL-SB model tripod. Dimana perhitungan flywheel ini didasarkan pada buku karangan R.S. Khurmi dan J.K. Gupta [11]

Bahan fly wheel yang digunakan adalah Cast Iron dimana

Massa Jenis : $\rho = 7250 \text{ kg/m}^3$

Tegangan tarik : $\sigma_t = 6.10^6 \text{ N/m}^2$

$\sigma_t = \rho \times V_2$

$6.10^6 = 7250 \times V_2$

$V_2 = 827,6$

$V = 28,8 \text{ m/s}$

$V = \pi \cdot D \cdot N / 60$

$28,8 = 3,14 \cdot D \cdot 430,551 / 60$

$D = 1,27 \text{ m}$

4.8 Analisa Biaya

Perencanaan biaya pada instalasi pembangkit listrik tenaga gelombang laut di utara Pulau Bawean Gresik ini disusun berdasarkan harga yang didapatkan dari sumber beberapa internet. Analisa biaya ini dirancang dengan tujuan untuk mendapatkan berapa harga jual listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul ke PLN atau biaya per kWh. Perancangan biaya ini didasarkan pada penelitian sebelumnya (karina, A, 2014). Berikut perencanaan biaya dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

A. Biaya Instalasi (fixed cost)

- a. Biaya struktur PLTGL-SB
- b. Biaya perlengkapan daya
 - Generator
- c. Biaya transmisi
 - Kabel bawah laut
 - Perlengkapan power house
 - Perlengkapan jaringan listrik di darat
- d. Biaya total instalasi
- e. Biaya rata-rata per kW
- f. Biaya tahunan (variabel cost)
 - Modal 15% (life time untuk 15 tahun)
 - Biaya perbaikan dan perawatan
 - Biaya operator
 - Biaya administrasi
- g. Biaya per kWh

$$\text{Biaya produksi per kWh} = \frac{\text{total biaya tahunan}}{\text{Energi yang dihasilkan dalam setahun}}$$

Tabel 4. 12 Perencanaan biaya Instalasi PLTGL-SB di Pulau Bawean

Biaya Instalasi (Fixed Cost)

No	Keterangan	Harga
1	Biaya Struktur	
	a. 3 Ponton segi delapan 6,0045 ton grey cast iron @Rp 6,500 (catalog - stellindonesia.co.id)	Rp 39.029.250
	b. Struktur platform 4,17825 ton grey cast iron @Rp 6,500 (catalog - stellindonesia.co.id)	Rp 27.158.625
	c. Struktur bandul dan transmisi 2,05428 ton grey cast iron @Rp 6,500 (catalog - stellindonesia.co.id)	Rp 13.352.820
	b. 3 Mooring @Rp 10,000,000	Rp 30.000.000
	c. Pemasangan Mooring	Rp 20.000.000
2	Peralatan Penghasil Daya	
	a. 4 unit generator @50,000,000	Rp 200.000.000
3	Biaya Transmisi	
	a. Kabel bawah laut	Rp 30.000.000
	b. Pemasangan Kabel Bawah Laut	Rp 157.500.000
4	Perencanaan dan Perizinan asumsi 10% (total poin 1-4)	Rp 6.514.800.000
	Total Biaya Instalasi	Rp 746.504.765

Biaya tahunan (Variabel Cost)

No	Keterangan	Harga
1	Bunga Modal 12%	Rp 89.580.572
2	Perawatan asumsi 20% dari investasi modal pertahun	Rp 149.300.953
3	Biaya Operasional	Rp 50.000.000
4	Biaya Tenaga Kerja	
	a. 1 Kepala Proyek @Rp 6,000,000	Rp 6.000.000
	b. 3 Teknisi @Rp 3,200,000	Rp 9.600.000
	c. 6 Staff @Rp 4,500,000	Rp 27.000.000
5	Pajak dan Asuransi asumsi 3,5% dari investasi pertahun	Rp 26.127.667
	Total Biaya Tahunan	Rp 357.609.191

Diketahui :

- Daya dari PLTGL-SB = 9,658546 kw
- Jumlah waktu operasi PLTGL-SB = 8300 jam (asumsi pembangkit bekerja selama 24 jam)
- Jumlah kWh pertahun

$$= \text{Daya rata-rata pertahun} \times \text{waktu operasi}$$

$$= (9,6585 \times 4) \times 8300$$

$$= 320663,7272 \text{ kWh}$$
- Harga Listrik Per kWh

$$= \frac{\text{total biaya tahunan}}{\text{jumlah kWh pertahun}}$$

$$= \frac{357.609.191}{320663,7272}$$

$$= 1.115,22 \text{ rupiah/kWh}$$

Maka keuntungan yang didapat dalam 1 tahun adalah
 $1.115,22 \times 24 \times 365 = 9.769.327,2 \text{ rupiah}$

- Biaya pra bayar listrik per kWh perhari PLN = 605 rupiah/kWh

Untuk rincian perhitungan pemasangan mooring dan pemasangan kabel bawah laut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 13 Perencanaan biaya pemasangan mooring dan kabel bawah laut

Harga satuan pemasangan mooring

No	Uraian	sat	vol	Harga	Jumlah
	upah :				
1	Operator	orang	3	Rp 150.000	Rp 450.000
2	Pekerja	orang	8	Rp 80.000	Rp 640.000
3	Mandor	orang	1	Rp 100.000	Rp 100.000
	Alat :				
4	Crane	hari	1	Rp1.000.000	Rp 1.000.000
5	Tug Boat	hari	1	Rp2.300.000	Rp 2.300.000
6	dll	hari	1	Rp 50.000	Rp 50.000
	Total biaya alat dan upah perhari				Rp 4.540.000

Dengan asumsi pengerjaan pemasangan mooring selama 40 hari, maka besar biaya pemasangan mooring sebesar Rp 181.600.000.

Pemasangan kabel bawah laut

No	Uraian	sat	vol	Harga	Jumlah
	upah :				
1	Operator	orang	2	Rp 150.000	Rp 300.000
2	Pekerja	orang	5	Rp 80.000	Rp 400.000
3	Mandor	orang	1	Rp 100.000	Rp 100.000
	Alat :				
4	Tug Boat	hari	1	Rp2.300.000	Rp 2.300.000
5	dll	hari	1	Rp 50.000	Rp 50.000
	Total biaya alat dan upah perhari				Rp 3.150.000

Dengan asumsi pengerjaan pemasangan kabel bawah laut selama 50 hari, maka besar biaya pemasangan kabel bawah laut sebesar Rp 157.500.000.

4.9 Analisa kebutuhan Listrik di Pulau Bawean

Berdasarkan data penelitian sebelumnya, terdapat 4 desa di kecamatan Tambak yang masuk ke daftar usulan perencanaan pengaliran listrik oleh PLN. Dimana mayoritas ke 4 desa tersebut terletak di sebelah utara Pulau bawean. Berikut data usulan perencanaan Pengaliran Listrik di Pulau Bawean, Kecamatan Tambak pada tahun 2012.

Tabel 4. 14 Data usulan perencanaan pengaliran listrik di Pulau bawean Kecamatan tambak 2012 (PLN, Bawean, 2012)

No	Daftar Desa	Jumlah Rumah
1	Desa Tanjung Ori	
	- Langgetan	60
	- Cengker Manis	80
2	Desa Promaan	
	- Pasar Angin-angin	90
3	Desa pekalongan	
	- Gunung Deje	64
	- Kampung	28
	Pekalongan	
4	Desa Gelam	
	- Tanjung Alas	160
	total	482

Untuk menganalisa kebutuhan listrik pada 4 desa tersebut, maka diperlukan asumsi per rumah mendapatkan listrik dengan daya 900 Watt. Maka kebutuhan listrik dari masing-masing desa dijabarkan dengan perhitungan sebagai berikut :

- Kebutuhan listrik = jumlah rumah x 900 Watt
- Desa Promaan = $90 \times 900 \text{ Watt}$
= 81.000 Watt
- Desa Tanjung Ori = $(60+80) \times 900 \text{ Watt}$
= 126.000 Watt
- Desa Pekalongan = $(64 + 28) \times 900 \text{ watt}$
= 82.800 Watt
- Desa Gelam = $160 \times 900 \text{ Watt}$
= 144.000 Watt

Dari seluruh perhitungan Desa, maka didapatkan total seluruh kebutuhan listrik dalam usulan perencanaan pengaliran listrik adalah sebesar 433.800 Watt.

4.10. Analisa Kelayakan Teknis

4.10.1. Lokasi

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya (Hadian,2014) lokasi yang dipilih sebagai penerapan PLTGL-SB adalah di utara Pulau Bawean yang terletak di Kecamatan Tambak Desa Diponggo. Dari segi infrastruktur lokasi ini memiliki jarak yang paling dekat dengan jalur lingkaran Bawean jika dibandingkan dengan kedua lokasi lain yang akan ditinjau. Kondisi akses jalan jalur lingkaran Bawean menuju lokasi yang dipilih juga sudah berpaving. Akses jalannya juga memiliki jarak yang lebar yaitu 2 m sehingga mudah untuk diakses. Apabila lebar jalan masuk dan luas lokasi pesisir diasumsikan semakin lebar jalan masuk dan semakin luas lokasi pesisirnya maka semakin baik untuk instalasi dan operasi PLTGL. Jika jalan masuk menuju lokasi pesisir semakin lebar maka akan memungkinkan kendaraan-kendaraan angkut seperti *pick up* dan truk dapat beroperasi melalui jalan tersebut. Jika luas lokasi pesisir semakin luas maka akan mempermudah pembangunan pos dan gardu PLTGL.

4. 10.2. Kelistrikan

Dikarenakan data gelombang yang ada adalah data gelombang yang terjadi perbulan dalam satu tahun. Maka untuk menganalisa kemampuan supply pembangkit yang digunakan adalah daya rata-rata dalam satu tahun. Dimana daya rata-rata yang dihasilkan dalam satu tahun (Januari-Desember) adalah sebesar 1600 Watt atau 1,6 kW per pembangkit. Dengan jumlah 4 PLTGL-

SB, maka PLTGL-SB model tripod yang diterapkan di pesisir Pulau Bawean ini mampu menyuplai sebanyak :

$$\begin{aligned}\text{Kemampuan Supply} &= \frac{4 \times 1600 \text{ watt}}{900 \text{ watt}} \\ &= 7,1 \text{ unit rumah} \\ &\approx 7 \text{ unit rumah}\end{aligned}$$

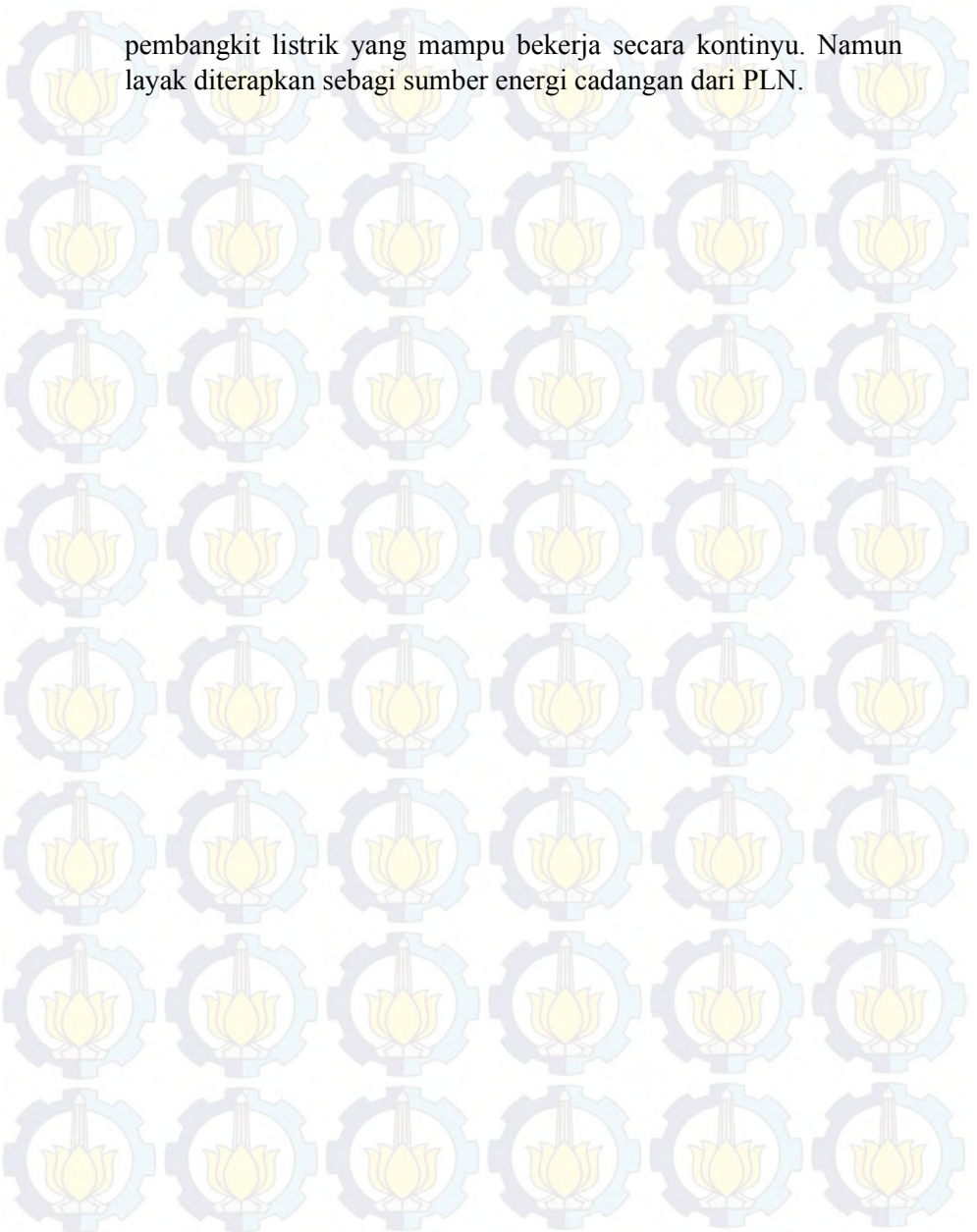
Namun pada bulan Desember, PLTGL-SB model tripod ini mampu menyuplai lebih banyak beban. Dikarenakan pada bulan Desember daya yang dihasilkan pembangkit mampu mencapai 9658,546 watt atau 9,658546 kW. Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kemampuan Supply} &= \frac{4 \times 9658,546 \text{ watt}}{900 \text{ watt}} \\ &= 42,9 \text{ unit rumah} \\ &\approx 42 \text{ unit rumah}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, menunjukkan bahwa daya listrik hasil keluaran dari PLTGL-SB model tripod yang diaplikasikan di daerah utara Pulau Bawean ini mampu menyuplai kebutuhan listrik di daerah sasaran sebanyak 7 unit rumah. Namun pada bulan Desember PLTGL-SB model tripod ini mampu menyuplai kebutuhan listrik di daerah sasaran sebanyak 42 unit rumah.

Sesuai hasil perhitungan daya, maka PLTGL-SB model tripod ini tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik pada daerah Pulau Bawean secara kontinyu. Karena total beban yang harus disuplai oleh pembangkit sebesar 482 unit rumah. Sementara pembangkit hanya mampu menyuplai maksimal 42 unit rumah. Selain itu PLTGL-SB ini nilainya berubah-ubah tiap waktu (Januari-Desember). Sehingga PLTGL-SB ini tidak layak untuk dijadikan

pembangkit listrik yang mampu bekerja secara kontinyu. Namun layak diterapkan sebagai sumber energi cadangan dari PLN.





BAB V


KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan didapatkan bahwa pada PLTGL-SB model tripod yang diterapkan di daerah utara pesisir Pulau Bawean mampu menghasilkan daya listrik maksimal sebesar 9658,546 Watt atau 9,658546 kilowatt. Dimana pada rancangan desain tripod yang akan diaplikasikan terdapat 4 pembangkit bandul sehingga daya listrik yang dihasilkan sebesar 38634,184 watt atau 38,634184 kilowatt.
2. Rata-rata dalam satu tahun PLTGL-SB model tripod yang diterapkan di daerah utara pesisir Pulau Bawean hanya mampu menyuplai kebutuhan listrik sebanyak 7 unit rumah. Namun pada bulan Desember PLTGL-SB model tripod ini mampu menyuplai kebutuhan listrik maksimal sebanyak 42 unit rumah.
3. PLTGL-SB ini tidak layak untuk dijadikan pembangkit listrik yang mampu bekerja secara kontinyu. Namun layak diterapkan sebagai sumber energi cadangan dari PLN.

5.2. Saran

1. Dibutuhkan kajian lebih lanjut tentang analisa gerakan ponton dan simpangan bandul terhadap tinggi dan periode gelombang laut, sehingga diharapkan nantinya perhitungan daya yang diperoleh lebih realistis.
2. Studi kasus dilakukan di daerah lain yang memiliki tinggi gelombang lebih tinggi untuk diterapkan PLTGL-SB model tripod.



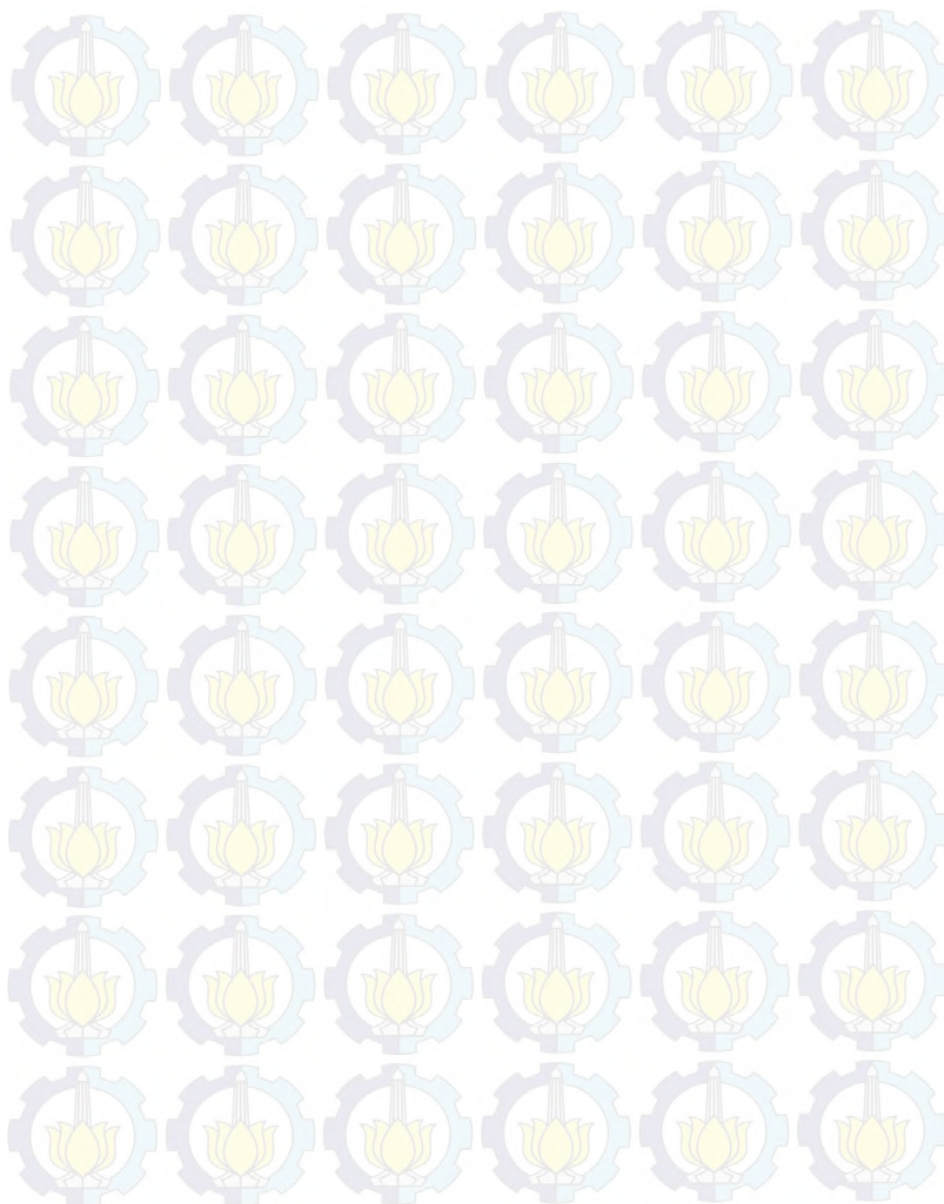
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] McCormick, M.E., Johnson D., Hebron, R., Hoyt, J.,1981, “Wave Energy Conversion”, Boston : John Wiley & Sons Inc.
- [2] BSI, 2009, Assessment of Performance of Wave Energy Conversion Systems. Marine Renewable Energy Guides. Department of Energy and Climate Change. EMEC ORKNEY (The European Marine Energy Centre Ltd).
- [3] Ulandari M.H., 2014, *Studi Pemilihan Lokasi Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) di Daerah Pesisir Pulau Bawean-Gresik*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Karina, A., 2014, *Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) di Pulau Bawean Gresik* , Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Alpen Steel, 2010. Pembangkit Listrik Gelombang Laut, (URL: <http://www.alpensteel.com/article/119-106-energi-laut-ombakgelombangarus/529-pembangkit-listrik-tenaga-gelombang-laut>). Diakses pada tanggal 30 Mei 2015.
- [6] Ant/N-6, 2015, Hanya Lulus SMK, Zamrisyaf Bisa Ubah Gelombang Laut Jadi Listrik, (URL:<http://www.sp.beritasatu.com>). Diakses pada 30 Mei 2015.
- [7] <http://www.earth.google.com>. diakses pada 30 Mei 2015.
- [8] Lestari, E. 2014. *Multistage Design Of Permanent Magnet Generator (PMG) For Sea Wave Energy Power Plant With*

- 
- Pendulum System*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9] Astri, Wanda R. 2012. *Analisa Perbandingan Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Belt Dan Roda Gigi Pada Kapal Keruk 30 M*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, ITS.
- [10] Hitachi Roller Chains. Hitachi Metals Techno, Ltd.
- [11] Sularso. Ir. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*” Institut teknologi Bandung.
- [12] R.S. Khurmi, J.K. Gupta, Machine Design. 2005. 2005. Eurasia Publishing House (Pvt.) Ltd. Ram Nagar, New Delhi-110 055.
- [13] Junianto, S. 2014. *Analisis Gerakan Bandul akibat Gerakan Ponton pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

LAMPIRAN



Perhitungan Daya Pada Bandul dengan Massa bandul 350 kg

Bulan	Tinggi Gel (m)	Periode Gel (s)	Sudut θ	$\sin \Phi$	$\cos \Phi$	g (m/s ²)	La (m)	m disk (kg)	m rodd h=La-Lacos Φ (kg)	T rodd (Nm)	T disk (Nm)	T sistem (Nm)
Januari	1,17	5,37	15,613	0,269	0,963	9,8	2,2	350	85	0,08	2029,87	2276,36
Februari	0,94	5,18	12,544	0,217	0,976	9,8	2,2	350	85	0,05	1637,48	1836,32
Maret	0,57	5,07	7,607	0,132	0,991	9,8	2,2	350	85	0,02	996,07	1117,02
April	0,47	5,19	6,272	0,109	0,994	9,8	2,2	350	85	0,01	822,51	922,39
Mei	0,82	5,33	10,943	0,189	0,981	9,8	2,2	350	85	0,04	1426,19	1599,37
Juni	1,06	5,4	14,146	0,244	0,969	9,8	2,2	350	85	0,07	1841,22	2064,80
Juli	1,18	5,49	15,747	0,271	0,962	9,8	2,2	350	85	0,08	2044,97	2293,28
Agustus	1,22	5,44	16,281	0,28	0,959	9,8	2,2	350	85	0,09	2112,88	2369,44
September	0,95	5,24	12,678	0,219	0,976	9,8	2,2	350	85	0,05	1652,37	1853,24
Oktober	0,7	5,02	9,341	0,162	0,987	9,8	2,2	350	85	0,03	148,44	1370,89
November	0,4	4,96	5,338	0,093	0,996	9,8	2,2	350	85	0,01	8,52	78,70
Desember	3,49	5,2	46,573	0,7262	0,687	9,8	2,2	350	85	0,69	5479,91	6145,32

I rodd (Kg.m ²)	I disk (Kg.m ²)	I (Kg.m ²)	ω rad/sec	ω rad/sec	N RPM	v (m/s)	EK (J)	P (HP)	P (watt)
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,574	5,483	1,263	301,804	1,753	1306,95
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,462	4,416	1,017	195,765	1,139	849,123
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,283	2,704	0,623	73,412	0,424	316,301
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,231	2,208	0,509	48,941	0,286	213,259
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,411	3,929	0,905	154,980	0,882	658,027
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,526	5,018	1,156	252,863	1,455	1085,12
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,582	5,556	1,280	309,961	1,789	1334,34
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,604	5,771	1,330	334,432	1,920	1432,04
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,462	4,416	1,017	195,765	1,149	856,949
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,340	3,250	0,749	106,039	0,626	466,543
137,13	1694,00	1831,13	2,151	0,189	1,803	0,415	32,627	0,020	14,8566
137,13	1694,00	1831,13	2,151	1,670	15,946	3,674	2553,099	13,761	10262

Perhitungan Daya Pada Bandul dengan Massa bandul 250 kg

Bulan	Tinggi Gel (m)	Periode Gel (s)	Sudut ϕ	$\sin \phi$	$\cos \phi$	g (m/s^2)	L_a (m)	m_{disk} (kg)	m_{rodd} kg	$h=L_a-L_{acos\phi}$ (m)	T_{rodd} (Nm)	T_{disk} (Nm)	T_{sistem} (Nm)
Januari	1,17	5,37	15,613	0,269	0,963	9,8	2,2	250	85	0,08	246,48	1449,91	1696,39
Februari	0,94	5,18	12,544	0,217	0,976	9,8	2,2	250	85	0,05	198,84	1169,63	1368,47
Maret	0,57	5,07	7,607	0,132	0,991	9,8	2,2	250	85	0,02	120,95	711,48	832,43
April	0,47	5,19	6,272	0,109	0,994	9,8	2,2	250	85	0,01	99,88	587,51	687,39
Mei	0,82	5,33	10,943	0,189	0,981	9,8	2,2	250	85	0,04	173,18	1018,71	1191,89
Juni	1,06	5,4	14,146	0,244	0,969	9,8	2,2	250	85	0,07	223,58	1315,16	1538,74
Juli	1,18	5,49	15,747	0,271	0,962	9,8	2,2	250	85	0,08	248,32	1460,69	1709,01
Agustus	1,22	5,44	16,281	0,28	0,959	9,8	2,2	250	85	0,09	256,56	1509,20	1765,76
September	0,95	5,24	12,678	0,219	0,976	9,8	2,2	250	85	0,05	200,67	1180,41	1381,08
Oktober	0,7	5,02	9,341	0,162	0,987	9,8	2,2	250	85	0,03	148,44	873,18	1021,62
November	0,4	4,96	5,338	0,0993	0,996	9,8	2,2	250	85	0,01	8,52	50,13	58,65
Desember	3,49	5,2	46,573	0,7262	0,687	9,8	2,2	250	85	0,69	665,42	3914,22	4579,64

I_{rodd} ($Kg.m^2$)	I_{disk} ($Kg.m^2$)	I ($Kg.m^2$)	ω_{on} rad/sec	ω rad/sec	N RPM	v (m/s)	EK (J)	P (HP)	P watt
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,574	5,483	1,363	222,032	1,306	973,967
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,462	4,416	1,017	144,021	0,849	632,786
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,283	2,704	0,623	54,008	0,316	235,715
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,231	2,208	0,509	36,005	0,213	158,925
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,411	3,929	0,905	114,016	0,658	490,377
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,526	5,018	1,156	186,027	1,084	808,653
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,582	5,556	1,280	228,033	1,333	994,38
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,604	5,771	1,330	246,036	1,431	1067,19
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,462	4,416	1,017	144,021	0,856	638,618
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,340	3,250	0,749	78,011	0,466	347,679
137,13	1210,00	1347,13	2,165	0,189	1,803	0,415	24,003	0,015	11,0714
137,13	1210,00	1347,13	2,165	1,670	15,946	3,674	1878,271	10,255	7647,5

Perhitungan Daya Pada Bandul dengan Massa bandul 150 kg

Bulan	Tinggi Gel (m)	Periode Gel (s)	Sudut θ	Sin Φ	Cos Φ	g (m/s ²)	L (m)	m disk (kg)	m rodd (kg)	h=La-Laos Φ (m)	T rodd (Nm)	T disk (Nm)	T sistem (Nm)
Januari	1,17	5,37	15,613	0,269	0,963	9,8	2,2	150	85	0,08	246,48	869,95	1116,43
Februari	0,94	5,18	12,544	0,217	0,976	9,8	2,2	150	85	0,05	198,84	701,78	900,62
Maret	0,57	5,07	7,607	0,132	0,991	9,8	2,2	150	85	0,02	120,95	426,89	547,84
April	0,47	5,19	6,272	0,109	0,994	9,8	2,2	150	85	0,01	99,88	352,51	452,38
Mei	0,82	5,33	10,943	0,189	0,981	9,8	2,2	150	85	0,04	173,18	611,23	784,41
Juni	1,06	5,4	14,146	0,244	0,969	9,8	2,2	150	85	0,07	223,58	789,10	1012,67
Juli	1,18	5,49	15,747	0,271	0,962	9,8	2,2	150	85	0,08	248,32	876,41	1124,73
Agustus	1,22	5,44	16,281	0,28	0,959	9,8	2,2	150	85	0,09	256,56	905,52	1162,08
September	0,95	5,24	12,678	0,219	0,976	9,8	2,2	150	85	0,05	200,67	708,25	908,92
Oktober	0,7	5,02	9,341	0,162	0,987	9,8	2,2	150	85	0,03	148,44	523,91	672,35
November	0,4	4,96	5,338	0,0993	0,996	9,8	2,2	150	85	0,01	8,52	30,08	38,60
Desember	3,49	5,2	46,573	0,7262	0,687	9,8	2,2	150	85	0,69	665,42	2348,53	3013,95

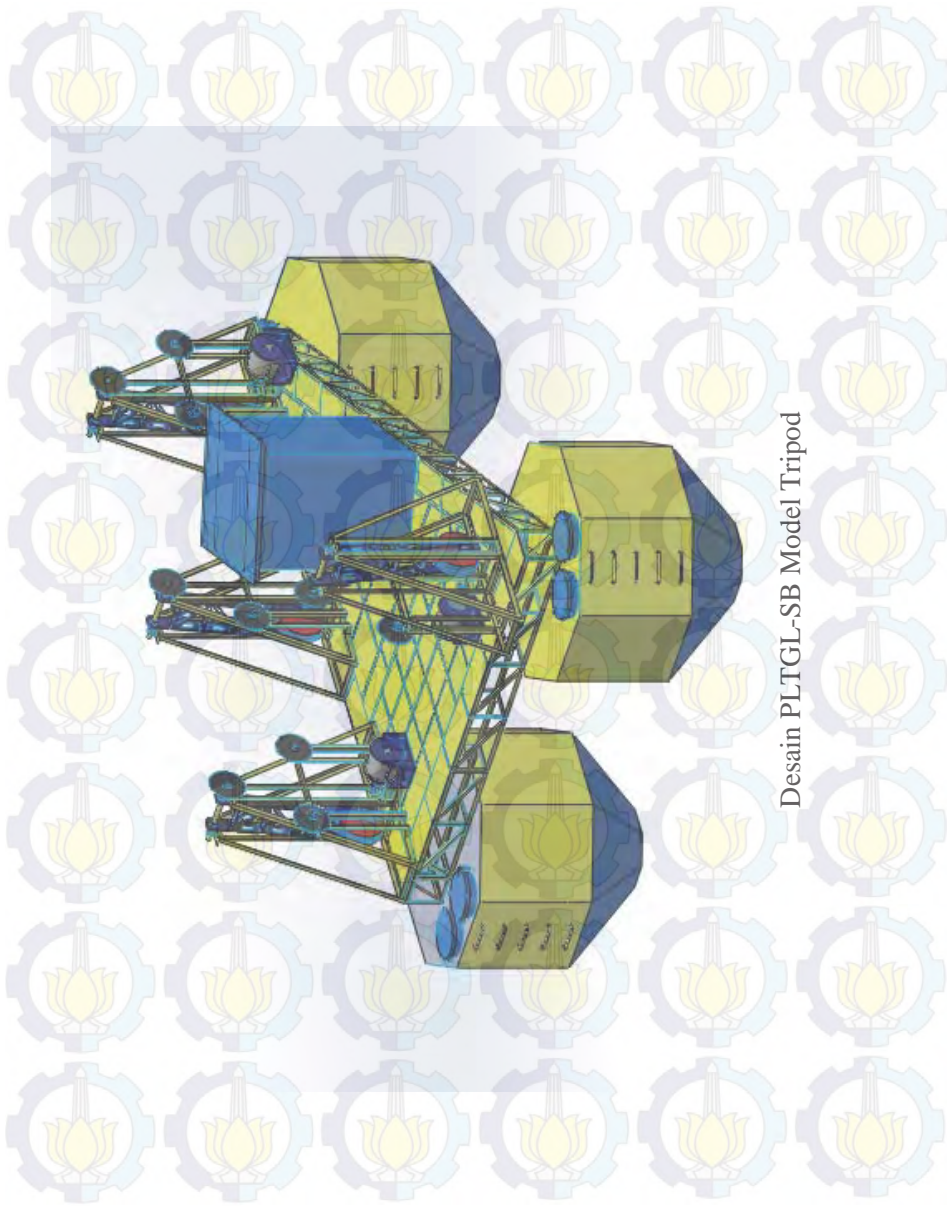
I rodd (Kg.m ²)	I disk (Kg.m ²)	I (Kg.m ²)	ω rad/sec	ω rad/sec	N RPM	v (m/s)	EK (J)	P (HP)	P watt
137,13	726,00	863,13	2,195	0,574	5,483	1,263	142,260	0,860	640,987
137,13	726,00	863,13	2,195	0,462	4,416	1,017	92,277	0,558	416,449
137,13	726,00	863,13	2,195	0,283	2,704	0,623	34,604	0,208	155,128
137,13	726,00	863,13	2,195	0,231	2,208	0,509	23,069	0,140	104,392
137,13	726,00	863,13	2,195	0,411	3,929	0,905	73,032	0,433	322,727
137,13	726,00	863,13	2,195	0,526	5,018	1,156	119,191	0,714	532,19
137,13	726,00	863,13	2,195	0,382	5,556	1,280	146,105	0,878	654,421
137,13	726,00	863,13	2,195	0,604	5,771	1,330	157,640	0,942	702,338
137,13	726,00	863,13	2,195	0,462	4,416	1,017	92,277	0,564	420,287
137,13	726,00	863,13	2,195	0,340	3,250	0,749	49,983	0,307	228,814
137,13	726,00	863,13	2,195	0,189	1,803	0,415	15,379	0,010	7,28633
137,13	726,00	863,13	2,195	1,670	15,946	3,674	1203,443	6,749	5032,97

Input Perhitungan Sistem Transmisi

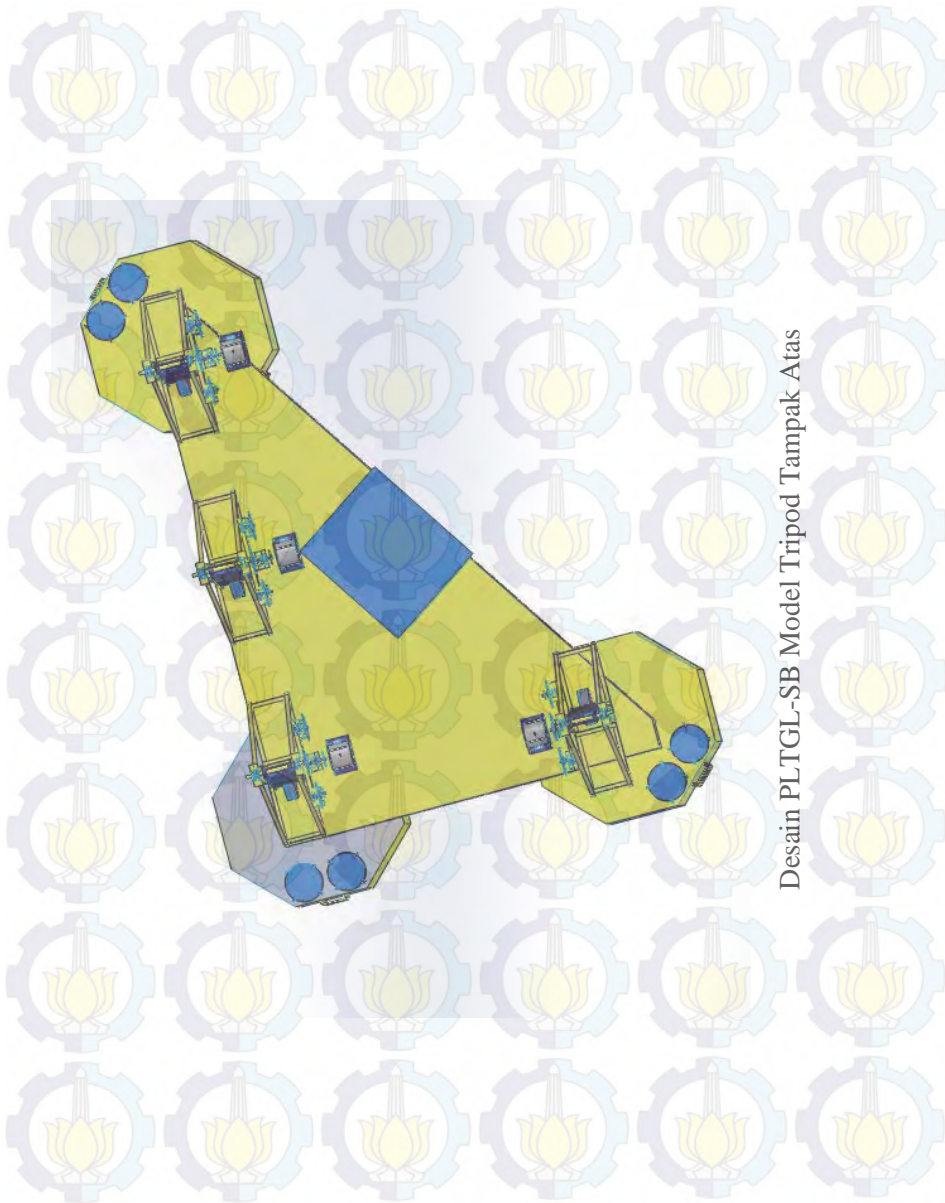
Sudut	T _{system}	ω rad/s	N (Rpm)	P (HP)	P (watt)
5,338	78,70	2,151	1,803	0,020	14,857
6,272	922,39	2,151	2,208	0,286	213,259
7,607	1117,02	2,151	2,704	0,424	316,301
9,341	1370,89	2,151	3,250	0,626	466,543
10,943	1599,37	2,151	3,929	0,882	658,027
12,544	1836,32	2,151	4,416	1,139	849,123
12,678	1853,24	2,151	4,416	1,149	856,949
14,146	2064,80	2,151	5,018	1,455	1085,115
15,613	2276,36	2,151	5,483	1,753	1306,948
15,747	2293,28	2,151	5,556	1,789	1334,339
16,281	2369,44	2,151	5,771	1,920	1432,040
46,573	6145,32	2,151	15,946	13,761	10262,036

Output Perhitungan Sistem Transmisi

Sudut	ω_3 (1:3) rad/s	T_3 Nm	N_3 Rpm	P (HP)	P (watt)
5,338	58,064	3	24,336	0,019	14
6,272	58,064	34,163	59,611	0,269	200,718
7,607	58,064	41,371	73,008	0,399	297,700
9,341	58,064	50,774	87,745	0,589	439,107
10,943	58,064	59,236	106,079	0,831	619,330
12,544	58,064	68,012	119,222	1,072	799,188
12,678	58,064	68,639	119,222	1,082	806,553
14,146	58,064	76,474	135,498	1,370	1021,302
15,613	58,064	84,310	148,031	1,650	1230,089
15,747	58,064	84,936	150,018	1,684	1255,869
16,281	58,064	87,757	155,827	1,807	1347,824
46,573	58,064	227,605	430,551	12,952	9658,546



Desain PLTGL-SB Model Tripod



Desain PLTGL-SB Model Tripod Tampak Atas

TECHNICAL CHARACTERISTICS 500 STK ALTERNATORS

See also the curves of Voltage, Torque, Efficiency vs Speed

	Rated speed	500 STK									
		500	150	600	150	600	150	600	150	600	150
Rated Power at Rated speed		4700	2270	7157	3127	9741	3357	14892	4121	19938	46616
Rated torque at rated speed (1)(2)	W	376	396	547	538	736	693	1100	941	1462	1197
Input torque at rated power (1)(2)	N.m	80	91	84	93	84	93	86	93	87	93
Efficiency at rated power (1)(2)	%	11.7	50.7	17.9	83.3	23.1	80	36.3	107.5	46.2	102.5
Current at rated power (1)	Amps	237	267	237	225	250	251	242	230	255	273
Voltage at rated power (1)(2)(3)	V	1835	1046	2968	1537	4142	1733	6440	2310	8831	26874
Rated Power at half speed (1)(2)	W	365	380	546	545	735	744	1102	941	1467	1434
Input torque at half speed (1)(2)	N.m	63	88	70	90	72	89	75	90	77	90
Efficiency at half speed (1)(2)	%	36 (18)	5.8	1.03	0.05	0.71	0.05	0.38	0.03	0.30	0.04
Number of poles (number of pairs of poles)		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Cogging torque	N.m	2	0.13	8.9	0.41	7.4	0.55	4.5	0.37	3.7	0.49
Phase resistance at 20°C	Ohm	14.7	0.53	304	261	319	290	304	261	319	309
Phase inductance (5)	mH	319	319	649	649	865	865	1296	1296	1730	1730
Voltage at no load (back emf) at 20°C (4)	V	4	4	58	58	73	73	103	103	133	133
Rotor inertia	10 ⁻³ Kg.m ²	4x1.5	4x10	4x2.5	4x16	4x4	4x16	4x6	4x25	4x10	4x25
Weight	Kg	Q8	Q16.7	Q9.6	4xQ11	Q11.1	4xQ11	Q13.4	4xQ13.5	Q16.7	4xQ13.5
Power cable square section (6)	mm ²	4x1.5	4x10	4x2.5	4x16	4x4	4x16	4x6	4x25	4x10	4x25
Power cable diameter	mm	Q8	Q16.7	Q9.6	4xQ11	Q11.1	4xQ11	Q13.4	4xQ13.5	Q16.7	4xQ13.5

Generator Pilihan Sesuai Output Daya Dari Sistem Transmisi Bandul

BIODATA PENULIS



Penulis, Windy Kamesworo dilahirkan di Tulungagung, 04 Juni 1992 . Merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Kartika V-29, Tulungagung, SDN Kenayan 02, Tulungagung. SMP Negeri tulungagung, dan SMA Negeri 1 kediri. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2011, penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan melalui jalur SNMPTN tulis, dengan NRP 421110044. Penulis juga melakukan On The Job Training di PT. PAL Surabaya (2012) dan (2015). Penulis aktif di BEM ITS selama 1,5 periode kepengurusan dan di BEM FTK selama 1 tahun. Penulis mengambil Tugas Akhir di bidang Marine Manufacturing and Design (MMD).